

2003P19405WO

1/5

## PCT-ANTRAG

Original (für EINREICHUNG)

10/523701

0	Vom Anmeldeamt auszufüllen	
0-1	Internationales Aktenzeichen	
0-2	Internationales Anmeldedatum	
0-3	Name des Anmeldeamts und "PCT International Application"	
0-4	Formular PCT/RO/101 PCT-Antrag erstellt mit	<b>PCT-SAFE [EASY mode] Version 3.50 (Build 0002.163)</b>
0-5	Antragsersuchen  Der Unterzeichnnte beantragt, daß die vorliegende internationale Anmeldung nach dem Vertrag über die internationale Zusammenarbeit auf dem Gebiet des Patentwesens behandelt wird.	
0-6	(Vom Anmelder gewähltes) Anmeldeamt	<b>Deutsches Patent- und Markenamt (RO/DE)</b>
0-7	Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts	<b>2003P19405WO</b>
I	Bezeichnung der Erfindung	<b>LEUCHTSTOFF UND LICHTQUELLE MIT DERARTIGEM LEUCHTSTOFF</b>
II	Anmelder	
II-1	Diese Person ist	<b>nur Anmelder</b>
II-2	Anmelder für	<b>Alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US</b>
II-4	Name	<b>PATENT-TREUHAND-GESELLSCHAFT FÜR ELEKTRISCHE GLÜHLAMPEN MBH</b>
II-5	Anschrift	<b>Hellabrunner Str. 1 81543 München Deutschland</b>
II-6	Staatsangehörigkeit (Staat)	<b>DE</b>
II-7	Sitz/Wohnsitz (Staat)	<b>DE</b>
II-8	Telefonnr.	<b>(089) 6213-4188</b>
II-9	Telefaxnr.	<b>(089) 6213-2037</b>

**PCT-ANTRAG**

Original (für EINREICHUNG)

III-1	Anmelder und/oder Erfinder	
III-1-1	Diese Person ist	<b>Anmelder und Erfinder</b>
III-1-2	Anmelder für	<b>Nur US</b>
III-1-4	Name (FAMILIENNAME, Vorname)	<b>FIEDLER, Tim</b>
III-1-5	Anschrift	<b>Siebenbürgener Str. 81377 München Deutschland</b>
III-1-6	Staatsangehörigkeit (Staat)	<b>DE</b>
III-1-7	Sitz/Wohnsitz (Staat)	<b>DE</b>
III-2	Anmelder und/oder Erfinder	
III-2-1	Diese Person ist	<b>Anmelder und Erfinder</b>
III-2-2	Anmelder für	<b>Nur US</b>
III-2-4	Name (FAMILIENNAME, Vorname)	<b>FRIES, Torsten</b>
III-2-5	Anschrift	<b>Goethestr. 6 86391 Stadtbergen Deutschland</b>
III-2-6	Staatsangehörigkeit (Staat)	<b>DE</b>
III-2-7	Sitz/Wohnsitz (Staat)	<b>DE</b>
III-3	Anmelder und/oder Erfinder	
III-3-1	Diese Person ist	<b>Anmelder und Erfinder</b>
III-3-2	Anmelder für	<b>Nur US</b>
III-3-4	Name (FAMILIENNAME, Vorname)	<b>JERMANN, Frank</b>
III-3-5	Anschrift	<b>Klara-Ziegler-Bogen 187 81739 München Deutschland</b>
III-3-6	Staatsangehörigkeit (Staat)	<b>DE</b>
III-3-7	Sitz/Wohnsitz (Staat)	<b>DE</b>
III-4	Anmelder und/oder Erfinder	
III-4-1	Diese Person ist	<b>Anmelder und Erfinder</b>
III-4-2	Anmelder für	<b>Nur US</b>
III-4-4	Name (FAMILIENNAME, Vorname)	<b>ZACHAU, Martin</b>
III-4-5	Anschrift	<b>Pfarrer-Unsin-Str. 17 82269 Geltendorf Deutschland</b>
III-4-6	Staatsangehörigkeit (Staat)	<b>DE</b>
III-4-7	Sitz/Wohnsitz (Staat)	<b>DE</b>

## PCT-ANTRAG

Original (für EINREICHUNG)

III-5	Anmelder und/oder Erfinder Diese Person ist	<b>Anmelder und Erfinder</b>
III-5-1		Nur US
III-5-2	Anmelder für	ZWASCHKA, Franz
III-5-4	Name (FAMILIENNAME; Vorname)	Egerländerstr. 31
III-5-5	Anschrift	85737 Ismaning
III-5-6	Staatsangehörigkeit (Staat)	Deutschland
III-5-7	Sitz/Wohnsitz (Staat)	DE
IV-1	Anwalt oder gemeinsamer Vertreter oder besondere Zustellanschrift  Die unten bezeichnete Person ist/wird hiermit bestellt, um für den(die) Anmelder vor den zuständigen interna- tionalen Behörden zu handeln, und zwar in folgender Eigenschaft:	<b>gemeinsamer Vertreter</b>
IV-1-1	Name	PATENT-TREUHAND-GESELLSCHAFT FÜR ELEKTRISCHE GLÜHLAMPEN MBH
IV-1-2	Anschrift	Postfach 22 16 34 80506 München
IV-1-3	Telefonnr.	Deutschland (089) 6213-4188
IV-1-4	Telefaxnr.	(089) 6213-2037
V	BESTIMMUNGEN	
V-1	Die Einreichung dieses Antrags umfaßt gemäß Regel 4.9 Absatz a die Bestimmung aller Vertragsstaaten, für die der PCT am Internationalen Anmeldedatum verbindlich ist, und, insoweit verfügbar, für jede Art von Schutzrecht und sowohl für ein regionales als auch für ein nationales Patent	
V-2	Die Bestimmungen in Feld V-2 wurden unwiderruflich aus- geschlossen, um zu vermelden, daß eine frühere nationale Anmeldung, deren Priorität beansprucht wird, nach nationalem Recht ihre Wirkung verliert.	DE
VI-1	Priorität einer früheren nationalen Anmeldung beansprucht	
VI-1-1	Anmeldedatum	22. Dezember 2003 (22.12.2003)
VI-1-2	Nummer	103 60 546.0
VI-1-3	Staat	DE

**PCT-ANTRAG**

Original (für EINREICHUNG )

<b>VI-2</b>	<b>Ersuchen um Erstellung eines Prioritätsbeleges</b>  Das Anmeldeamt wird ersucht, eine beglaubigte Abschrift der in der (den) nebenstehend genannten Zeile(n) bezeichneten früheren Anmeldung(en) zu erstellen und dem Internationalen Büro zu übermitteln:	<b>VI-1</b>	
<b>VII-1</b>	<b>Gewählte Internationale Recherchen-behörde</b>	<b>Europäisches Patentamt (EPA) (ISA/EP)</b>	
<b>VIII</b>	<b>Erklärungen</b>	<b>Anzahl der Erklärungen</b>	
<b>VIII-1</b>	Erklärung hinsichtlich der Identität des Erfinders	-	
<b>VIII-2</b>	Erklärung hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, zum Zeitpunkt des internationalen Anmeldedatums, ein Patent zu beantragen und zu erhalten	-	
<b>VIII-3</b>	Erklärung hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, zum Zeitpunkt des internationalen Anmeldedatums, die Priorität einer früheren Anmeldung zu beanspruchen	-	
<b>VIII-4</b>	Erfindererklärung (nur im Hinblick auf die Bestimmung der Vereinigten Staaten von Amerika)	-	
<b>VIII-5</b>	Erklärung hinsichtlich unschädlicher Offenbarungen oder Ausnahmen von der Neuheitsschädlichkeit	-	
<b>IX</b>	<b>Kontrollliste</b>	<b>Anzahl der Blätter</b>	<b>Elektronische Datei(en) beigefügt</b>
<b>IX-1</b>	Antrag (inklusive Erklärungsblätter)	<b>5</b>	✓
<b>IX-2</b>	Beschreibung	<b>14</b>	-
<b>IX-3</b>	Ansprüche	<b>2</b>	-
<b>IX-4</b>	Zusammenfassung	<b>1</b>	✓
<b>IX-5</b>	Zeichnung(en)	<b>18</b>	-
<b>IX-7</b>	<b>INSGESAMT</b>	<b>40</b>	
<b>IX-8</b>	<b>Beigefügte Unterlagen</b>	<b>Unterlage(n) in Papierform beigefügt</b>	<b>Elektronische Datei(en) beigefügt</b>
<b>IX-17</b>	Blatt für die Gebührenberechnung	✓	-
<b>IX-18</b>	PCT-SAFE Datenträger	-	✓
<b>IX-19</b>	Sonstige(s)	<b>Kopie der Ursprungsanmeldung für den Priobeleg</b>	
<b>IX-19</b>	Nr. der Abb. der Zeichn., die mit der Zusammenf. veröffentlicht werden soll	<b>3</b>	
<b>IX-20</b>	Sprache der Int. Anmeldung	<b>Deutsch</b>	

## PCT-ANTRAG

Original (für EINREICHUNG )

X-1	<b>Unterschrift des Anmelders, des Anwalts oder des Gemeinsamen Vertreters</b>		
X-1-1	Name <b>PATENT-TREUHAND-GESELLSCHAFT FÜR ELEKTRISCHE GLÜHLAMPEN MBH</b>		
X-1-2	Name der unterzeichnenden Person <b>Dr. Werner</b>		
X-1-3	Eigenschaft <b>3.1.5. Nr. 981/92 AV-Pat</b>		

## VOM ANMELDEAMT AUSZUFÜLLEN

10-1	Datum des tatsächlichen Eingangs dieser internationalen Anmeldung	
10-2	Zeichnung(en):	
10-2-1	Eingegangen	
10-2-2	Nicht eingegangen	
10-3	Geändertes Eingangsdatum aufgrund nachträglich, jedoch fristgerecht eingeg. Unterlage(n) oder Zeichnung(en) zur Vervollständigung dieser Int. Anmeldung	
10-4	Datum des fristgerechten Eingangs der Berichtigung nach PCT Artikel 11(2)	
10-5	Internationale Recherchenbehörde	<b>ISA/EP</b>
10-6	Übermittlung des Recherchenexemplars bis zur Zahlung der Recherchengebühr aufgeschoben	

## VOM INTERNATIONALEN BÜRO AUSZUFÜLLEN

11-1	Datum des Eingangs des Aktenexemplars beim Internationalen Büro	
------	---	--

**Patent-Treuhand-Gesellschaft  
für elektrische Glühlampen mbH., München**

**Titel: Leuchtstoff und Lichtquelle mit derartigem Leuchtstoff**

**Technisches Gebiet**

Die Erfindung geht aus von einem Leuchtstoff und Lichtquelle mit derartigem Leuchtstoff gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Es handelt sich dabei insbesondere um einen Granat-basierten Leuchtstoff, der sich zur Anwendung bei Lichtquellen wie LEDs und Lampen eignet.

**Stand der Technik**

- 5 Aus der DE-GM 201 08 013 ist bereits ein Leuchtstoff und Lichtquelle mit derartigem Leuchtstoff bekannt, bei dem ein Leuchtstoff ein Granat bestimmter Seltene Erden ist. die Anwendung verschiedener Seltene Erden gibt die Möglichkeit, den Farbort des Leuchtstoffs in gewissen Grenzen einzustellen. Allerdings sind derartige Leuchtstoffe, wenn nicht Y die hauptsächliche Komponente des von Seltene Erden-  
10 besetzten Gitterplatzes darstellt, wenig stabil oder sie besitzen wenig Effizienz oder nur geringe Absorptionsfähigkeit. Zwar kann im Granat Al durch Ga teilweise ersetzt werden, insbesondere bei diesen bekannten Leuchtstoffen mit Farbort im Grünen Spektralbereich ist die Anregbarkeit und damit einhergehend die Effizienz der Konversion nicht zufriedenstellend. Eine weitere Beschränkung des gewünschten Farborts eines bekannten Granat-Leuchtstoffs zur Realisierung einer weißen LED liegt darin, dass des öfteren eine relativ hohe Cer-Konzentration dafür erforderlich ist, die jedoch herstellungstechnisch nur sehr aufwendig zu realisieren ist.  
15

Bisher mussten zur Realisierung bestimmter Farborte, die beispielsweise einer neutralweißen oder warmweißen Lichtfarbe entsprechen, die Kombination mehrerer Leuchtstoffe angewendet werden. Dieses Zweikomponenten-System hat prinzipiell mehrere Nachteile: Der langwelligere Leuchtstoff absorbiert i. allg. die Emission des kürzerwelligen. Des weiteren müssen die Partikelgrößen der Leuchtstoffe aufeinander abgestimmt sein, damit keine Agglomeration oder Sedimentation auftritt. Hinzu

kommt, dass die Leuchtstoffe in einem exakten Mischungsverhältnis sehr homogen gemischt werden müssen, um Farbortschwankungen zu vermeiden. Schließlich zeigen die bekannten Leuchtstoffe im allgemeinen eine unterschiedliche Temperaturabhängigkeit, wodurch eine Farbortdrift beim Dimmen der LED oder unterschiedlichen Umgebungstemperaturen entstehen kann.

### Darstellung der Erfindung

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Leuchtstoff gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 bereitzustellen, der sich durch Robustheit und hohe Sensibilität für die Wahl des Farbort in einem weiten Bereich des Farbdiagramms auszeichnet

10 Eine weitere Aufgabe ist die Herstellung eines hocheffizienten, stabilen Grünleuchtstoff mit Granatstruktur für den Einsatz in vollfarbtauglichen LEDs auf der Basis einer kurzwellig emittierenden, beispielsweise im Blauen emittierenden Primär-LED mit langer Lebensdauer ermöglicht.

15 Eine weitere Aufgabe ist die Herstellung eines hocheffizienten Granatleuchtstoffs mit genau abgestimmten Farbort für die photonische Anregung, insbesondere durch weiße LEDs, sowie die Bereitstellung einer Lichtquelle, insbesondere einer weißen LED mit neutral- bis warmweißer Lichtfarbe mit nur einem Leuchtstoff als Konverter. Bei Verwendung eines einzigen Leuchtstoffs lassen sich Farbortschwankungen einschränken und die Produktion wird einfacher, da es keine Misch- und Sedimentationsprobleme gibt. Selbstverständlich kann der Leuchtstoff auch zusammen mit anderen Leuchtstoffen für die Bereitstellung einer Lichtquelle verwendet werden.

20 Diese Aufgabe wird durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Besonders vorteilhafte Ausgestaltungen finden sich in den abhängigen Ansprüchen.

25 Die erfindungsgemäße Substitution der Komponente B, insbesondere von Al<sup>3+</sup>, durch Si<sup>4+</sup> führt in Leuchtstoff-Systemen mit Granatstruktur, beispielsweise Y(Al,Ga)G:Ce zu einer ausgeprägten Farbortverschiebung. Dabei ist normalerweise immer eine weitere Komponente aus Gründen der Ladungskompensation erforderlich, weil Si ein vierwertiges Ion, die Komponente B wie beispielsweise Al aber ein dreiwertiges Ion ist. Aus diesem Grund hat man bisher immer nur den naheliegen-

den Weg versucht, Al durch andere dreiwertige Ionen wie Ga oder In zu ersetzen, die denselben Gitterplatz belegen.

Für die Realisierung gibt es mehrere Wege. In einer ersten Ausführungsform wird gleichzeitig mit Si ein Ion KB eingeführt, das denselben Gitterplatz belegt, jedoch 5 eine Wertigkeit unter 3 besitzt, also ein ein- oder zweiwertiges Ion wie beispielsweise  $Mg^{2+}$ . Eine andere Möglichkeit ist beispielsweise  $Be^{2+}$ . In diesen Fällen wird das Ersatzion KB häufig als Oxid eingeführt, so dass wegen der Granatstruktur keine weitere Ladungskompensation beachtet werden muss.

In einer zweiten Ausführungsform wird ein anderer Weg eingeschlagen, indem gleichzeitig mit Si ein Ion KC eingeführt wird, das einen anderen Gitterplatz mit entgegengesetzter Ladungspolarität belegt. Aufgrund der anderen Ladungspolarität ist in 10 diesem Fall der Wahl der Wertigkeit keine Beschränkung auferlegt. Besonders bevorzugt ist für diesen Fall der Ersatz von Sauerstoff (als  $O^{2-}$  zu verstehen) durch Stickstoff (als  $N^{3-}$  zu verstehen).

15 In einer dritten Ausführungsform wird gleichzeitig mit Si ein Ion KA eingeführt, das einen anderen Gitterplatz, nämlich den der Komponente A, belegt. Dabei ist wieder die Ladungspolarität dieselbe wie bei Si. Geeignete Kandidaten sind beispielsweise Na und Li.

In einer vierten Ausführungsform wird kein weiteres Ion mit Si eingeführt, sondern 20 die Ladungskompensation erfolgt über Fehlstellen (nach Kröger-Vink mit  $V_A$  oder  $V_B$  oder  $V_C$  bezeichnet, wenn die Fehlstelle am Gitterplatz von A, B oder O sitzt), die mit einer eigenen Wertigkeit von null angesetzt werden.

Bevorzugt eignen sich generell Ionen, deren Radius möglichst nahe am Radius des zu ersetzenen Ions liegt. In der Praxis zeigt sich, dass im Falle eines größeren 25 Radius diese Grenze bei 30 %, also einem 1,3-fach höheren Radius liegt. Im Falle eines Ions, dessen Radius kleiner als der des zu ersetzenen Ions ist, ist diese Grenze deutlich weniger kritisch.

Die Substitution unter Beibehaltung der Granatstruktur hat nichts mit den neuartigen Nitridosilikaten zu tun, die zwar aus ähnlichen Einzelkomponenten aufgebaut sein 30 können, jedoch völlig andere Stöchiometrie, Gitterstruktur und Emissionsverhalten besitzen; eine typische Gitterstruktur ist  $\alpha$ -Sialon, siehe „On new rare-earth doped

M-Si-Al-O-N materials“, van Krevel, TU Eindhoven 2000, ISBN 90-386-2711-4, Kapitel 2.

Im einzelnen zeigt sich im Falle einer gleichzeitigen Ladungskompensation durch einen Austausch von O<sup>2-</sup> durch N<sup>3-</sup> überraschenderweise eine deutlich kurzwelligere  
5 Emission als bei entsprechendem Granat mit konventionellem Teilersatz des Al durch Ga, also Y(Al,Ga)G:Ce, wie bisher in der Literatur bekannt. Dabei wird die hohe Quanteneffizienz des reinen YAG:Ce-Leuchtstoffe nahezu beibehalten. Es lassen sich beispielsweise Leuchtstoffe mit 4 mol-% Cer als Aktivator und einer Dominanzwellenlänge zwischen 559 nm und 573 nm mit einer Quanteneffizienz von  
10 ca. 85-90% synthetisieren. Ohne die Verwendung des Siliziums müsste die Cer-Dotierung sehr stark reduziert werden, um vergleichbare Dominanzwellenlängen zu erreichen. Bei 4% Cer-Dotierung wurde in der Praxis als kürzeste Dominanzwellenlänge 563 nm erreicht. Die Cer-Dotierung liegt im Bereich 0,1 bis 10 %.

Überraschenderweise wirkt die Substitution in rein Al-haltigen Granat-Leuchtstoffen vom Typ (Y,Tb,Gd)AG:Ce anders. Durch geringe Substitution (< 1 mol%) von Al durch Si in YAG:Ce lässt sich die Dominanzwellenlänge um einige Nanometer zu längeren Wellenlängen hin verschieben, ohne dass die Effizienz des Leuchtstoffs abnimmt. Dadurch ist es möglich, den Weißfarbort der Standard-Weiß-LED „optimal“ einzustellen, ohne einen zweiten, in aller Regel ineffizienteren Leuchtstoff zur Farbortkorrektur einsetzen zu müssen.  
20

Erhöht man den Siliziumgehalt auf bis zu 20 mol-%, insbesondere im Bereich 1-20 mol-%, bevorzugt bis 10 mol-%, so erhält man eine immer deutlicher erkennbare rote Cer-Emission. Die Dominanzwellenlänge verschiebt sich dadurch auf bis zu 584 nm. Es zeigt sich, dass sich unter Verwendung eines solchen Leuchtstoffes beispielsweise eine Warmweiß-LED mit Farbtemperatur von ca. 3200 K und einem Ra-Wert um 75-80 mit nur einem Leuchtstoff herstellen lässt. Die Quanteneffizienz des Leuchtstoffs steigt mit abnehmendem Si-Gehalt. Die entsprechende LED-Effizienz steigt daher mit zunehmender Farbtemperatur. Es lassen sich Lichtquellen realisieren, die im Bereich der Lichtfarben tageslichtähnlich über neutralweiß bis warmweiß liegen, insbesondere im Bereich einer Farbtemperatur 2600 bis 6500 K.  
30

Unter Granatstruktur ist hier selbstverständlich auch eine geringfügig vom Idealfall des Granats abweichende, auf Fehlstellen oder Gitterstörungen beruhende Struktur gemeint, solange dieser Kristall die typische Granatstruktur beibehält.

Ein typischer erfindungsgemäßer Leuchtstoff hat die ideale Granatstruktur  
5 A3B5O12:D mit der neuartigen grundsätzlichen Modifikation  $A_{3-u}B_{5-v}Si_xO_{12-w}:D$ , dabei sitzt Si nur auf dem Gitterplatz der Komponente B, wobei Ladungsneutralität erhalten bleiben muss, beispielsweise realisiert als  $A_3B_{5-x}Si_xO_{12-y}:D$ , mit

A = Seltenerdmetall (SE) ausgewählt aus der Gruppe Y, Gd, Tb, La, Lu einzeln oder in Kombination;

10 B = Al, Ga, In einzeln oder in Kombination;

D = Aktivator, der SE ersetzt, ausgewählt aus der Gruppe Ce, Pr, Eu einzeln oder in Kombination;

K = Ladungskompensator, insbesondere ausgewählt aus Mg<sup>2+</sup>, Be<sup>2+</sup> und N<sup>3-</sup>, der die Ladungsfehlanpassung des Si ausgleicht.

15 Dabei gilt insbesondere  $0 < x \leq 1$  sowie  $0 \leq y \leq 2x$ .

Der Wert von y hängt von den Einzelheiten des Kristallaufbaus ab, insbesondere im Falle K = N gilt y = x.

Generell ist im einzelnen zu berücksichtigen, dass verschiedene Gitterplätze verschiedene Wertigkeiten haben können, so dass eine Darstellung des modifizierten  
20 Granats unter Berücksichtigung möglicher kompensierender Komponenten KA auf dem Gitterplatz A, kompensierender Komponenten KB auf dem Gitterplatz B und kompensierender Komponenten KC auf dem Gitterplatz des Sauerstoffs zur generellen Darstellung

[A<sub>3-a</sub>KA<sub>a</sub>]<sub>A</sub> [B<sub>5-b-x</sub>KB<sub>b</sub>Si<sub>x</sub>]<sub>B</sub> [O<sub>12-s</sub>KC<sub>s</sub>]<sub>O</sub>:D führt, wobei der Aktivator D der Komponente A zuzurechnen ist. In anderen Worten kann also die Formel auch ausgedrückt werden als [A<sub>3-t-a#</sub>KA<sub>a#</sub>D<sub>t</sub>]<sub>A</sub> [B<sub>5-b-x</sub>KB<sub>b</sub>Si<sub>x</sub>]<sub>B</sub> [O<sub>12-s</sub>KC<sub>s</sub>]<sub>O</sub>. Dabei ist a# ein anderer Wert als a, der sich ausgehend von a durch Zurechnung der Dotierung D ergibt, wie an sich bekannt.

Die wesentliche Bedingung für die Koeffizienten ist allgemein darstellbar als:

$$a(m_{KA}-3) + b(m_{KB} - 3) + x = s(-m_{KC} - 2).$$

Dabei ist m die jeweilige Wertigkeit des eingebauten Ions der Komponente KA, KB oder KC, wobei die etwaigen Fehlstellen mit einer Wertigkeit m=0 angesetzt sind.

Dabei gibt es mehrere grundsätzliche Ausführungsformen:

- 5 Zum ersten gibt es den Typ, bei dem Si einen Teil des Elements B ersetzt, wobei Si durch eine Fähre, nämlich einen Sauerstoff ersetzenden Mechanismus, beispielsweise mittels Stickstoff, eingebracht wird, so dass für die Stöchiometrie gilt:  $A_3B_{5-x}Si_x[O_{12-s}N_s]_0:D$ , wobei der tiefgestellte Index O eine Aussage über den Gitterplatz O macht. Hier ist N ein Ion des Typs KC, wobei insbesondere  $s \leq 1,5$  und  $x \leq 1,5$ , und bevorzugt  $x=s$ .

- 10 Zum zweiten gibt es den Typ, bei dem Si das Element B teilweise ersetzt, wobei Si durch einen die Ladung am Gitterplatz B ausgleichenden Mechanismus eingebracht wird, so dass für die Stöchiometrie gilt:  $A_3[B_{5-(x+y)}Si_xKB_y]_B O_{12}:D$ , wobei der tiefgestellte Index B eine Aussage über den Gitterplatz B macht. Beispielsweise wird Si zusammen mit Mg oder Na eingebracht, und zwar beide über eine Sauerstoffverbindung als Fähre, wobei insbesondere  $y \leq 1$  und  $x \leq 1$ .

- 15 Im Falle eines anderen Einbringens der Kodotierung K, beispielsweise mittels Stickstoff oder eines anderen Sauerstoff ersetzenden Elements, ergibt die resultierende Stöchiometrie eine Mischform zum ersten Typ, also beispielsweise  $A_3[B_{5-x-y}Si_xKB_y]_B [O_{12-s}N_s]_0:D$ . Ein Beispiel ist  $x=1$  und  $y=0,5$  mit B ist Mg<sup>2+</sup> sowie  $s=0,5$ .

- 20 Zum dritten den Typ, bei dem Si das Element B teilweise ersetzt, wobei Si durch ein Element als Fähre eingebracht wird, das den Gitterplatz A teilweise ersetzt, also durch einen A ersetzenden Mechanismus eingebracht wird, so dass für die Stöchiometrie gilt:

- 25  $[A_{3-y}KA_y]_A [B_{5-x}Si_x]_B O_{12}:D$ , wobei der tiefgestellte Index A, B eine Aussage über die Zugehörigkeit zu den Gitterplätzen der Komponente A und B macht. Hier ist insbesondere  $x=y$ . Dieses Verhalten kann sich insbesondere bei zweiwertigen Ionen zeigen, wie vor allem Mg oder Be. Als KA kommen aber auch Na und Li in Frage, 30 die einwertig eingebaut werden, wobei insbesondere  $y \leq 2$  und  $x \leq 2$ .

Zum vierten gibt es den Typ, der den Ladungsausgleich allein durch Fehlstellenbildung kompensiert. In diesem Fall kann das Si mit Fehlstellen an allen Gitterplätzen einhergehen. Die Stöchiometrie ist dann:  $A_{3-x/3}B_{5-x}Si_xO_{12}:D$ , wobei insbesondere  $x \leq 0,2$ . Beispielsweise ist  $x = 0,1$ .

5. Selbstverständlich können auch Mischformen all dieser Grundtypen auftreten. Die Dotierung D ist normalerweise immer als Bestandteil des Gitterplatzes A aufzufassen.

Bevorzugt ist im Falle  $B = Al$  der Wert  $x$  zwischen  $0,01 \leq x \leq 1$ , bevorzugt ist im Falle  $B = (Al, Ga)$  mit einem Ga-Anteil von mindestens 20 mol-% von B der Wert von  $x$  im 10 Bereich  $0,05 \leq x \leq 0,25$ . Je nach Umgebung wirkt der Zusatz von Si in der Granatstruktur rot- oder blau-verschiebend gegenüber einem gleichartigen Si-freien Granat. Noch überraschender ist der Befund, dass die Größe der Farbortverschiebung nicht eine eindeutige Funktion der Beigabe an Si ist, sondern sich eher im Sinne einer Relation verhält. Besonders große Verschiebungen lassen sich mit eher geringen Beimengungen an Si erreichen ( $x = 0,08$  bis  $0,23$ ). Das Verhalten im Einzelfall 15 hängt zudem aber noch von dem Ladungskompensator K ab, insbesondere der Frage seines zugeordneten Gitterplatzes.

Der Ionenradius des  $Si^{4+}$  ist vergleichbar groß wie der des  $Al^{3+}$ , so dass es relativ leicht anstatt  $Al^{3+}$  eingebaut werden kann. Dies ist einer der wesentlichen Punkte 20 für das überraschend gute Funktionieren des Ersetzens. Dagegen ist der Ionenradius des  $Mg^{2+}$ , das hier als Ladungskompensator dienen kann, merklich größer als von  $Al^{3+}$ , so dass es weniger gut anstatt  $Al^{3+}$  eingebaut werden kann. Daher kann mit dem System  $Si^{4+}-Mg^{2+}$  nur eine relativ kleine Menge an  $Si^{4+}$  zugesetzt werden.

- 25 Dagegen ist das System  $Si^{4+}$  mit  $N^{3-}$  als Ladungskompensator deutlich weniger kritisch, weil das Stickstoff-Ion das etwa gleich große Sauerstoff-Ion ersetzt. Daher kann mit diesem System eine relativ große Menge an  $Si^{4+}$  zugesetzt werden.

Vorteilhaft ist, dass dieser Mechanismus teilweise auch die Rolle des Aktivators D hinsichtlich einer Verschiebung des Farborts übernehmen kann, so dass relativ geringe Mengen an D, verglichen mit konventionellen Granaten, benötigt werden. Dies gilt insbesondere im Falle  $D = Ce$ .

Die Anregbarkeit der neuartigen Leuchtstoffe erstreckt sich zudem über einen weiten Bereich, der von etwa 250 nm, bevorzugt 300 nm, bis zu etwa 550 nm, bevorzugt 490 m, reicht. Maxima liegen bei etwa 350 nm und etwa 460 m. Damit ist dieser Leuchtstoff nicht nur zur Anregung durch UV oder blau emittierende Primärlichtquellen wie LEDs oder konventionelle Entladungslampen auf Hg-Basis geeignet, sondern auch für Lichtquellen wie einer Entladungslampe auf Basis einer Indium-Niederdruckentladung oder auch Indium-Hochdruckentladung, deren Resonanzlinien beispielsweise bei 304, 325, 410 und 451 nm liegen.

Das Emissionsverhalten hängt deutlich vom Ladungskompensator ab. Beispielsweise führt die Verwendung von Stickstoff zu einem erhöhten kovalenten Bindungsanteil, in der Literatur wird so ein Verhalten als sog. nephelauxetischer Effekt beschrieben. Dem kann gleichzeitig eine erhöhte Kristalfeldaufspaltung überlagert sein, bedingt beispielsweise durch die höhere Ladung des N<sup>3-</sup>-Ions gegenüber dem O<sup>2-</sup>-Ion. Das gegenüber Al<sup>3+</sup> höher geladene Si<sup>4+</sup>-Ion beeinflusst diese Effekte zusätzlich, die Zielrichtung hängt hier von den Details ab.

Der erfindungsgemäße Leuchtstoff eignet sich hervorragend als Grün-Leuchtstoff.

Ein besonderer Vorteil der erfindungsgemäßen Leuchtstoffe ist, dass sie relativ wenig Temperaturlösung zeigen. Überraschend ist, dass ein vierwertiges Ion wie Si ohne nennenswerte Effizienzverluste auf den Gitterplatz eines dreiwertigen Ions eingebaut werden kann.

### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Im folgenden soll die Erfindung anhand mehrerer Ausführungsbeispiele näher erläutert werden. Es zeigen:

- Figur 1 ein Halbleiterbauelement, das als Lichtquelle (LED) für weißes oder grünes Licht dient;
- 25 Figur 2 eine Beleuchtungseinheit mit Leuchtstoffen gemäß der vorliegenden Erfindung;
- Figur 3 das Emissionsspektrum einer warmweißen LED mit Si-Granat;
- Figur 4 das Reflexionsverhalten eines Si-Granats;
- Figur 5 das Emissionsverhalten eines Si-Granats;

- Figur 6 das Emissionsverhalten eines weiteren Si-Granats;  
Figur 7 das Emissionsverhalten eines weiteren Si-Granats;  
Figur 8 die Verschiebung der dominanten Wellenlänge eines Si-Granats;  
Figur 9 ein Spektrum einer LED-Lampe  
5 Figur 10 ein Spektrum einer LED-Lampe  
Figur 11 ein Spektrum einer LED-Lampe  
Figur 12 die Verschiebung der dominanten Wellenlänge eines Si-Granats;  
Figur 13 das Farbdiagramm für ein System blaue Primär-LED mit Si-Granat;  
Figur 14-17 ein Röntgendiffraktogramm für verschiedene Si-Granate;  
10 Figur 18 ein Beispiel einer OLED;  
Figur 19 eine Niederdrucklampe mit Indium-Füllung unter Verwendung eines Granats;  
Figur 20 die Langzeitstabilität einer warmweißen LED.

### **Bevorzugte Ausführung der Erfindung**

Für den Einsatz in einer warmweißen LED zusammen mit einem GaInN-Chip wird  
15 beispielsweise ein Aufbau ähnlich wie in US 5 998 925 beschrieben verwendet. Der Aufbau einer derartigen Lichtquelle für weißes Licht ist in Figur 1 explizit gezeigt. Die Lichtquelle ist ein Halbleiterbauelement (Chip 1) des Typs InGaN mit einer Peak-Emissionswellenlänge von 460 nm mit einem ersten und zweiten elektrischen Anschluss 2,3, das in ein lichtundurchlässiges Grundgehäuse 8 im Bereich einer  
20 Ausnehmung 9 eingebettet ist. Einer der Anschlüsse 3 ist über einen Bonddraht 14 mit dem Chip 1 verbunden. Die Ausnehmung hat eine Wand 17, die als Reflektor für die Primärstrahlung des Chips 1 dient. Die Ausnehmung 9 ist mit einer Vergussmasse 5 gefüllt, die als Hauptbestandteile ein Epoxidgießharz (beispielsweise 80 bis 90 Gew.-%) und Leuchtstoffpigmente 6 (beispielsweise weniger als 15 Gew.-%)  
25 enthält. Weitere geringe Anteile entfallen u.a. auf Aerosil. Die Leuchtstoffpigmente bestehen aus Pigmenten von Siliziumhaltigem Granat. Diese emittieren gelb und mischen sich zusammen mit einem Rest des nicht konvertierten Blau der Primärstrahlung zu weiß. Der gleiche Aufbau eignet sich auch zur Schaffung einer grünemittierenden LED, wobei die blaue Primärstrahlung vollständig konvertiert wird.  
30 In Figur 2 ist ein Ausschnitt aus einer Flächenleuchte 20 als Beleuchtungseinheit gezeigt. Sie besteht aus einem gemeinsamen Träger 21, auf den ein quaderförmiges äußeres Gehäuse 22 aufgeklebt ist. Seine Oberseite ist mit einer gemeinsamen

Abdeckung 23 versehen. Das quaderförmige Gehäuse besitzt Aussparungen, in denen einzelne Halbleiter-Bauelemente 24 untergebracht sind. Sie sind UV-emittierende Leuchtdioden mit einer Peakemission von typisch 340 nm. Die Umwandlung in weißes Licht erfolgt mittels Konversionsschichten, die direkt im Gießharz der einzelnen LED sitzen ähnlich wie in Figur 1 beschrieben oder Schichten 25, die auf allen der UV-Strahlung zugänglichen Flächen angebracht sind. Dazu zählen die innen liegenden Oberflächen der Seitenwände des Gehäuses, der Abdeckung und des Bodenteils. Die Konversionsschichten 25 bestehen aus drei Leuchtstoffen, die im roten, grünen und blauen Spektralbereich emittieren unter Benutzung der 10 erfindungsgemäßen Leuchtstoffe.

Tab. 1 zeigt zunächst Ionenradien einiger wichtiger Elemente, die im Granat eingebaut werden. Die relativen Quanteneffizienzen QE einiger Si-Granate des Typs  $\text{Y}(\text{Al}_3\text{-xSixGa}_2)\text{O}_{12}\text{:Ce}(4\%)$  sind in Tab. 2 gezeigt.

Figur 3 zeigt das Emissionsspektrum einer warmweißen LED, die einen einzigen Si-Granat als Konversionsmittel verwendet. Die Primärstrahlung ist 460 nm, womit eine Farbtemperatur von 3250 K und ein Farbwiedergabeindex von 80 erzielt wird.

Fig. 4 zeigt das Reflexionsverhalten eines Si-Granats als Funktion der Wellenlänge. Es handelt sich um  $\text{Y}_3\text{Al}_4\text{,9Si}_0\text{,1O}_{11\text{,9N}}\text{0,1:Ce}$ .

Figur 5 zeigt als Funktion der Wellenlänge (in nm) das Emissionsverhalten eines Si-Granats ( $x=0,25$ ), nämlich  $\text{Y}_3\text{Al}_4\text{,75Si}_0\text{,25O}_{11\text{,75N}}\text{0,25:Ce}$  im direkten Vergleich mit dem Emissionsverhalten des gleichen Granats ohne Si-Zusatz ( $x=0$ ), nämlich YAG:Ce. Erstaunlich ist die sehr große Verschiebung der Peakwellenlänge. Ein typischer Wert für die Cer-Dotierung ist 0,5 bis 4 % von A.

Figur 6 zeigt das Emissionsverhalten des Si-Granats  $\text{Tb}(\text{Al}_4\text{,5Si}_0\text{,5})\text{O}_{11\text{,5N}}\text{0,5:Ce}$  als Funktion der Wellenlänge. Figur 7 zeigt das Emissionsverhalten des Si-Granats  $(\text{Y}_{0,55}\text{Gd}_{0,45})(\text{Al}_4\text{,5Si}_0\text{,5})\text{O}_{11\text{,5N}}\text{0,5:Ce}$  als Funktion der Wellenlänge.

Figur 8 zeigt die Verschiebung der dominanten Wellenlänge (nm) als Funktion des Gehalts x an Si bei 460 nm für den Leuchtstoff  $\text{Y}(\text{Al}_5\text{-xSix})(\text{O}_{12\text{-xNx}})\text{:Ce}$ . Überraschend ist das Maximum bei etwa 0,25. Es liegt also keine lineare Funktion vor.

30 Figur 9 zeigt die Änderung der Effizienz und Emissionsbreite für verschiedene Leuchtstoffe des Typs  $\text{Y}_2\text{,88Ce}_0\text{,12Al}_5\text{O}_{12}$  (also YAG:Ce) bei Austausch von AlO durch SiN.

Figur 10 zeigt die Änderung der Effizienz und Emissionsbreite für verschiedene Leuchtstoffe des Typs  $Y_2.88Ce0.12Al_3Ga_2O_{12}$  (also  $Y(Al,Ga)G:Ce$ ) bei Zugabe von Si als SiN im Austausch zu AlO. Überraschend verhält sich dieses System infolge der Galliumzugabe völlig anders als reines YAG:Ce.

- 5 Figur 11 zeigt als Funktion der Wellenlänge (in nm) das Emissionsverhalten eines Si-Granats ( $x=0,25$ ), im direkten Vergleich mit dem Emissionsverhalten des gleichen Granats ohne Si-Zusatz ( $x=0$ ), nämlich  $Y_3Al_2Ga_2:Ce$ . Erstaunlich ist nicht nur die große Verschiebung der Peakwellenlänge, sondern auch die Tatsache, dass sie genau in die entgegengesetzte Richtung wie in Figur 5 erfolgt. Die Details dieses ungewöhnlichen Verhaltens sind noch nicht vollständig verstanden.

Figur 12 zeigt die Verschiebung der dominanten Wellenlänge (nm) als Funktion des Gehalts  $x$  an Si bei 460 nm Anregung für den Leuchtstoff  $Y(Al_{3-x}Ga_2Six)O_{12}:Ce$ . Überraschend ist das Maximum bei etwa 0,25. es liegt also keine lineare Funktion vor.

- 15 Figur 13 zeigt das Farbdiagramm (CIE) mit den Koordinaten  $x$ ,  $y$  für ein System aus blauer LED (Peakemission bei 450 bis 470 nm) und erfindungsgemäßen Si-Granaten. Es zeigt sich dass bei konventionellen Granaten nun erstmals Systeme mit warmweißer Lichtfarbe von typisch 3200 oder 2850 K oder darunter leicht mit einem einzigen Leuchtstoff realisiert werden können. Kandidaten dafür sind insbesondere Si-Granate auf Basis der Granate (Hohle Dreiecke) der Seltenerdmetalle Y, Tb und Gd, die mittels Si-Zugabe nach rechts zu längeren Wellenlängen hin verschoben werden können (gefüllte Dreiecke). Umgekehrt lassen sich gut grüne LEDs realisieren, indem Ga-haltige Granate (Al:Ga Verhältnis ist bevorzugt zwischen 0,5 und 2,5), ausgehend von YAG:Ce, mit Si beaufschlagt werden, wobei die Peakwellenlänge nach links zu kürzeren Wellenlängen hin wandert.

Si-Granate sind daher ideal zur maßgeschneiderten Anpassung an Kundenwünsche geeignet.

- Figur 14 zeigt ein Röntgendiffraktogramm für YAG:Ce mit Si-Anteil  $x=0,1$ , das die typische Granatstruktur, verglichen mit konventionellem YAG:Ce, siehe untere Läufleiste, verdeutlicht. Figur 15 zeigt ähnliches für einen Si-Anteil von  $x = 0,25$ .

Figur 16 zeigt ein Röntgendiffraktogramm für  $YAl_3Ga_2O_{12}:Ce$  mit Si-Anteil  $x=0,25$ , das die typische Granatstruktur, verglichen mit konventionellem YAG:Ce, siehe untere Laufleiste, verdeutlicht, wobei als zweite Laufleiste ein Yttriumoxinitrid ange-

geben ist, dessen Struktur aber nicht für den untersuchten Leuchtstoff passt. Figur 17 zeigt ähnliches für einen Si-Anteil von  $x = 0,5$ .

Ein typisches Herstellverfahren orientiert sich grundsätzlich an der üblichen Herstellung von YAG:Ce mit folgender beispielhafter Modifikation:

- 5 Der Ansatz wird entsprechend Tab. 3 wie folgt gewählt:

Dieser Ansatz wird ca. 40 min in einer Mörsermühle gemischt; anschließend wird er bei 1460 - 1560 °C für mehrere Stunden (typisch 3 h) geäugt. Die genaue Temperatur ist abhängig von der Zusammensetzung und vor allem von der Schmelzmittelzugebung. Typisch ist die Zugabe von Borsäure H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>.

- 10 Figur 18 zeigt eine weitere Anwendung, wie sie im Prinzip bereits aus US-B 6 700 322 bekannt ist. Dabei wird der erfindungsgemäße Leuchtstoff zusammen mit einer OLED angewendet. Die Lichtquelle ist eine organische lichtemittierende Diode 31, bestehend aus der eigentlichen organischen Folie 30 und einem transparenten Substrat 32. Die Folie 30 emittiert insbesondere blaues primäres  
15 Licht, erzeugt beispielsweise mittels PVK:PBD:Kumarin. Die Emission wird von einer Deckschicht, gebildet aus einer Schicht 33 des erfindungsgemäßen Leuchtstoffs, teilweise in gelbes, sekundär emittiertes Licht umgewandelt, so dass insgesamt durch Farbmischung des primär und sekundär emittierten Lichts eine weiße Emission realisiert wird. Bevorzugt ist das Zusammenwirken des erfindungsgemäß en Leuchtstoffs mit einer blaugrünen Primäremission. Das bedeutet, die primäre Emission liegt bei 480 bis 505 nm Peakwellenlänge. Sie kann besonders bevorzugt auch realisiert sein durch eine organische Leuchtstofffolie, die zwei Peaks, einen im blauen bei 430 bis 490 nm und einen weiteren bei 495 bis 520 nm, so dass insgesamt die dominante Wellenlänge bei blaugrün liegt. Dieses System erreicht mit nur  
20 zwei Leuchtstoffen (die Folie und der modifizierte Granat-Leuchtstoff) erstaunliche Werte der Farbwiedergabe (Ra besser als 85) bei einer Farbtemperatur von 4000 K bis 4600 K. Die OLED besteht im wesentlichen aus mindestens einer Schicht eines lichtemittierenden Polymers oder von sog. small molecules zwischen zwei Elektroden, die aus an sich bekannten Materialien bestehen, wie beispielsweise ITO als  
25 Anode, und ein hochreaktives Metall, wie z.B. Ba oder Ca, als Kathode. Oft werden auch mehrere Schichten zwischen den Elektroden verwendet, die entweder als Lochtransportschicht dienen (z.B. Baytron-P, kommerziell von HC Starck erhältlich) oder im Bereich der Small Molecules auch als Elektronentransportschichten dienen.  
30

Als emittierende Polymere kommen beispielsweise Polyfluorene oder Polyspiro-Materialien zum Einsatz.

Eine weitere Anwendung des erfindungsgemäß en Leuchtstoffs ist bei Leuchtstoff-Lampen, wo er auf die Innenseite des Kolbens aufgetragen wird, wie an sich bekannt, evtl. in Verbindung mit weiteren an sich bekannten Leuchtstoffen wie beispielweise Halophosphaten. Die Anregung erfolgt dabei über die bekannten Hg-Linien, insbesondere bei 254 nm.

Eine spezielle Anwendung ist in einer Indiumlampe. Figur 19 zeigt eine Niederdruck-Entladungslampe 20 mit einer quecksilberfreien Gasfüllung 21 (schematisiert), die eine Indiumverbindung und ein Puffergas analog WO 02/10374 enthält, wobei eine Schicht 22 aus Si-haltigem Granat angebracht ist. Der ganz besondere Vorteil bei dieser Anordnung ist, dass dieser modifizierte Granat gut der Indium-Strahlung angepasst ist, weil diese wesentliche Anteile sowohl im UV als auch im blauen Spektralbereich hat, die von diesem Granat beide gleichermaßen gut absorbiert werden, was ihn bei dieser Verwendung gegen die bisher bekannten Leuchtstoffe überlegen macht. Diese bekannten Leuchtstoffe absorbieren nennenswert entweder nur die UV-Strahlung oder die blaue Strahlung des Indiums, so dass die erfindungsgemäße Indium-Lampe eine deutlich höhere Effizienz zeigt. Diese Aussage gilt auch für eine Indium-Lampe auf Hochdruck-Basis wie an sich aus US 4 810 938 bekannt.

20 Eine weitere Anwendung ist die Anregung in elektrolumineszenten Lampen durch einen blau oder blaugrün emittierenden elektrolumineszenten Leuchtstoff mit Peakemission zwischen 440 und 520 nm.

Figur 20 zeigt die gute Langzeit-Stabilität einer warmweißen LED unter Verwendung des in Figur 3 diskutierten Leuchtstoffs. Sowohl der Lichstrom (Figur 20a) als auch die Farbkoordinaten x und y (Figur 20b, 20c) bleiben über 500 Std. nahezu stabil.

Tab. 1 Ionenradien (typischer Wert) in nm

	CN4 tetraedrisch	CN6 oktaedrisch
Mg <sup>2+</sup>	-	0,07
Al <sup>3+</sup>	0,04	0,05
Ga <sup>3+</sup>	0,05	0,06
Si <sup>4+</sup>	0,04	0,05
O <sup>2-</sup>	0,12	0,13
N <sup>3-</sup>	0,13	0,17

Tab. 2 relative Quanteneffizienz für Y(Al<sub>3-x</sub>Si<sub>x</sub>Ga<sub>2</sub>)G:Ce bei 460 nm Anregung

X (Si)	Rel. QE in %	Dom. Wellenlänge (nm)
0	100	566
0,25	101	559
0,50	103	560
0,75	100	561

5 Tab. 3

Komponente	Reinheit	Bezugsquelle
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4N	Rhodia
CeO <sub>2</sub>	3N5	Rhodia
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4N	Alfa A
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5N	Alfa A
SiO <sub>2</sub>	Aerosil	Ox 50
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>		Merck

## Ansprüche

1. Leuchtstoff mit Granatstruktur des Typs  $A_3B_5O_{12}:D$  dadurch gekennzeichnet, dass ein Teil der Komponente B durch Si mit einem Anteil von x ersetzt ist, wobei zum Ladungsausgleich mindestens eine weitere Komponente K eingebaut sein kann, wobei A = Seltenerdmetall und B = Al, Ga allein oder in Kombination, sowie D =Seltenerdmetall.  
5
2. Leuchtstoff nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass A = Y, Tb, Gd, La, Lu allein oder in Kombination.
3. Leuchtstoff nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass D = Ce, Pr, Eu allein oder in Kombination.
- 10 4. Leuchtstoff nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass  $x \leq 1$ .
5. Leuchtstoff nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Granat die folgende Struktur besitzt, wobei die ladungsausgleichenden Komponenten KA, KB, KC am Gitterplatz A, B und/oder O sitzen können, wobei m die Wertigkeit der eingebauten Ionen ist:  
15  $[A_{3-a}KA_a]_A [B_{5-b-x}KB_bSi_x]_B [O_{12-s}KC_s]_O:D$ , wobei gilt:  
 $a(m_{KA}-3) + b(m_{KB} - 3) + x = s(-m_{KC} - 2)$ .
6. Leuchtstoff nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als Ladungskompen-  
satoren KA, KB, KC eines oder mehrere der Elemente Mg, N oder Be oder Na oder  
Li fungieren.
- 20 7. Leuchtstoff nach Anspruch 5 dadurch gekennzeichnet, dass der Leuchtstoff die Stö-  
chiometrie  $A_3B_5-xSi_xO_{12-y}:D$  besitzt, mit  $y \leq 2x$ .
8. Leuchtstoff nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass  $x = 0,1$  bis  $0,5$ .
9. Leuchtstoff nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass  $KC = N$  und  $x = s$ .
10. Leuchtstoff nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Granat die folgen-  
25 de Struktur besitzt:  $A_3B_{5-x}Si_x[O_{12-s}N_s]_O:D$ , wobei insbesondere  $s \leq 1,5$  und  $x \leq 1,5$ ,  
und bevorzugt  $x=s$ .

11. Leuchtstoff nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Granat die folgende Struktur besitzt:  $A_3[B_{5-(x+y)}Si_xKB_y]_B O_{12}:D$ , wobei insbesondere  $y \leq 1$  und  $x \leq 1$ .
12. Leuchtstoff nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Granat die folgende Struktur besitzt:  $[A_{3-y}KA_y]_A[B_{5-x}Si_x]_B O_{12}:D$ , wobei insbesondere  $y \leq 2$  und  $x \leq 2$ .
- 5 13. Leuchtstoff nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Granat die folgende Struktur besitzt:  $A_{3-x/3}B_{5-x}Si_xO_{12}:D$ , wobei insbesondere  $x \leq 0,2$ .
- 10 14. Lichtquelle mit einem Leuchtstoff nach Anspruch 1, wobei die Primäremission der Lichtquelle zur Anregung des Leuchtstoffs dient und ein Maximum der Primäremission im Bereich 250 bis 550 nm liegt, und wobei die Primärstrahlung zumindest teilweise in Sekundärstrahlung umgewandelt wird, insbesondere um weißes Licht zu erzeugen.
15. Lichtquelle nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtquelle eine LED oder OLED oder Entladungslampe ist.

## **Zusammenfassung**

### **Leuchtstoff und Lichtquelle mit derartigem Leuchtstoff**

Ein Leuchtstoff mit Granatstruktur zeichnet sich durch die Zugabe von Si aus. Er eignet sich vor allem zur photonischen Anregung durch Lichtquellen mit einer Emission zwischen 250 und 550 nm.

Fig. 3

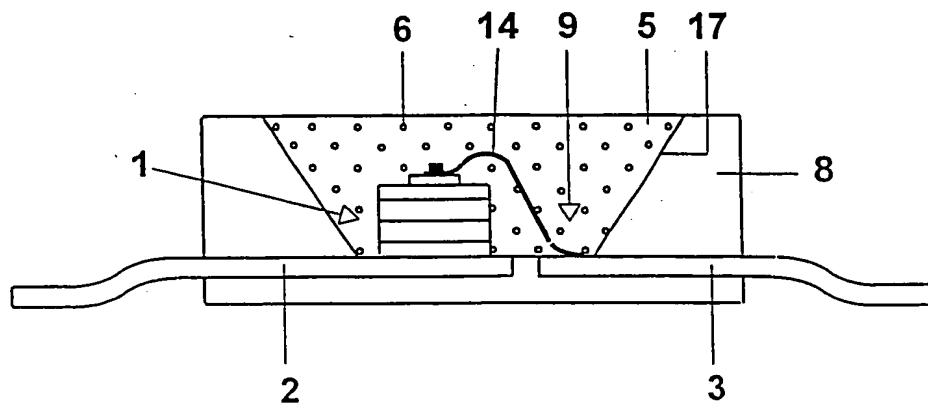


FIG. 1

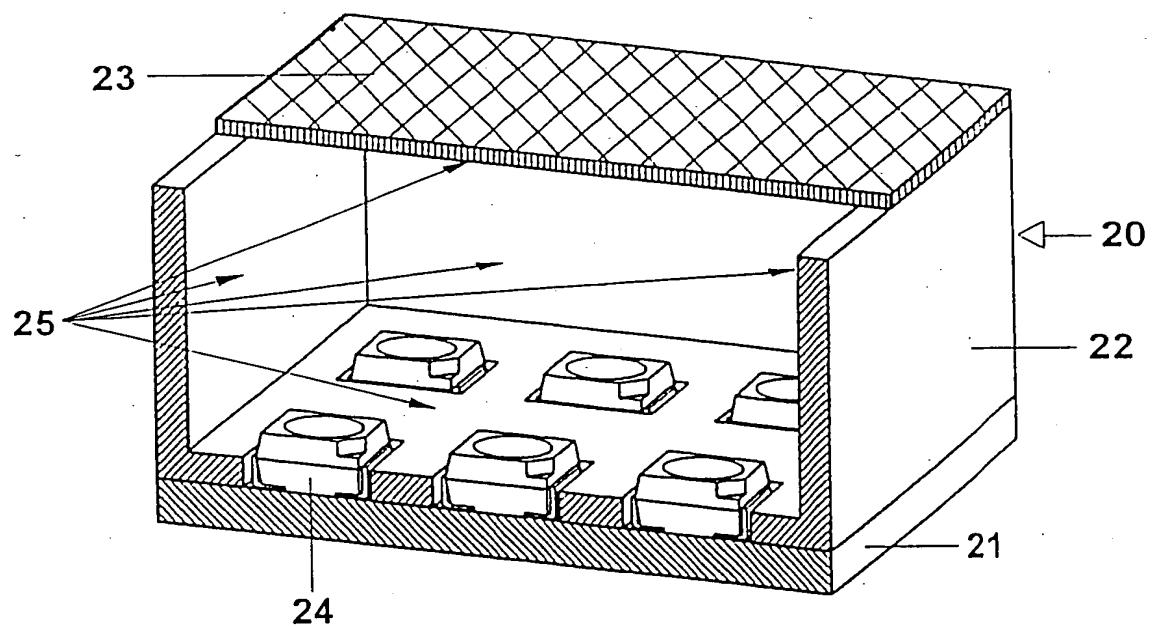


FIG. 2

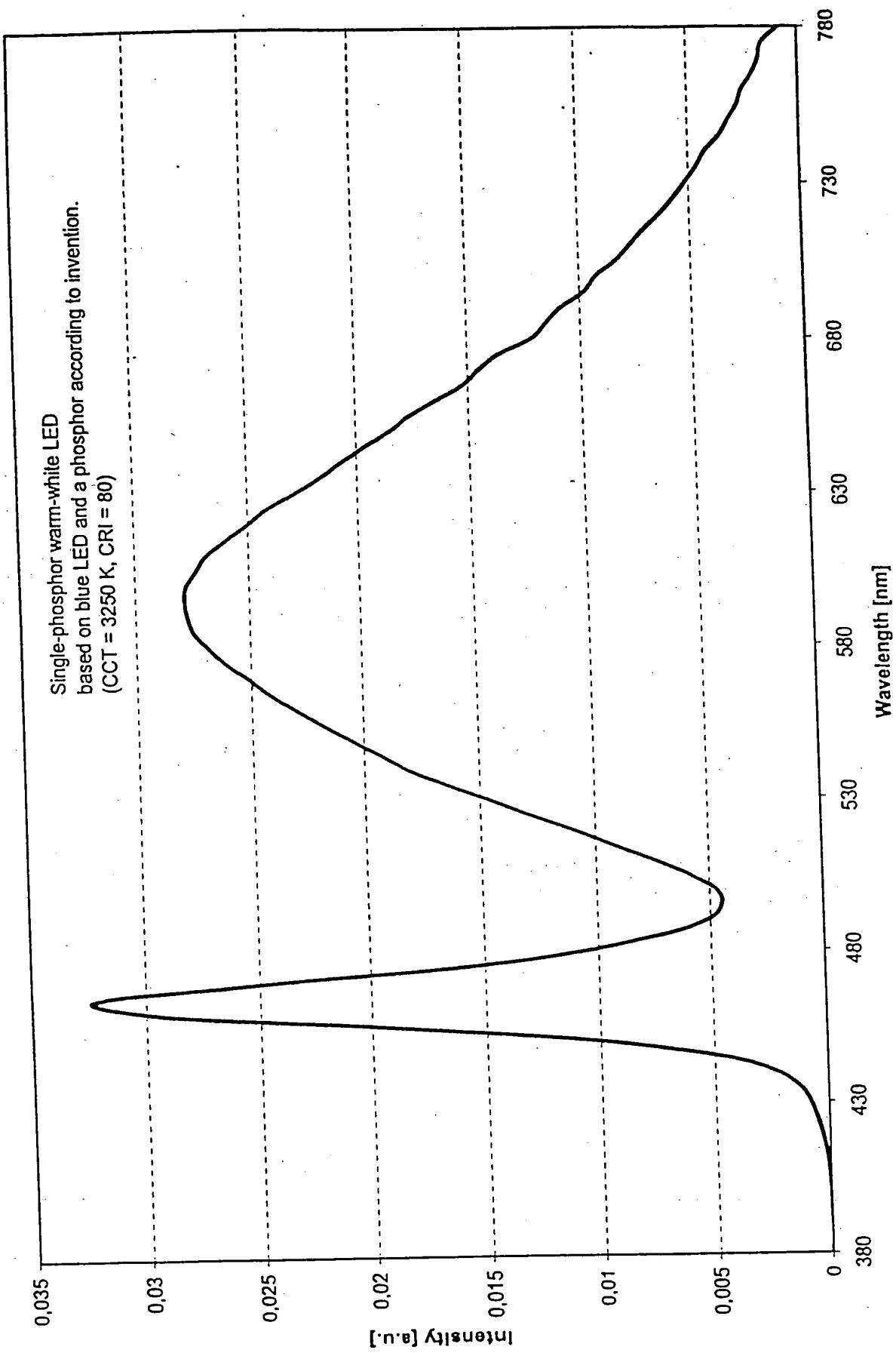


FIG. 3

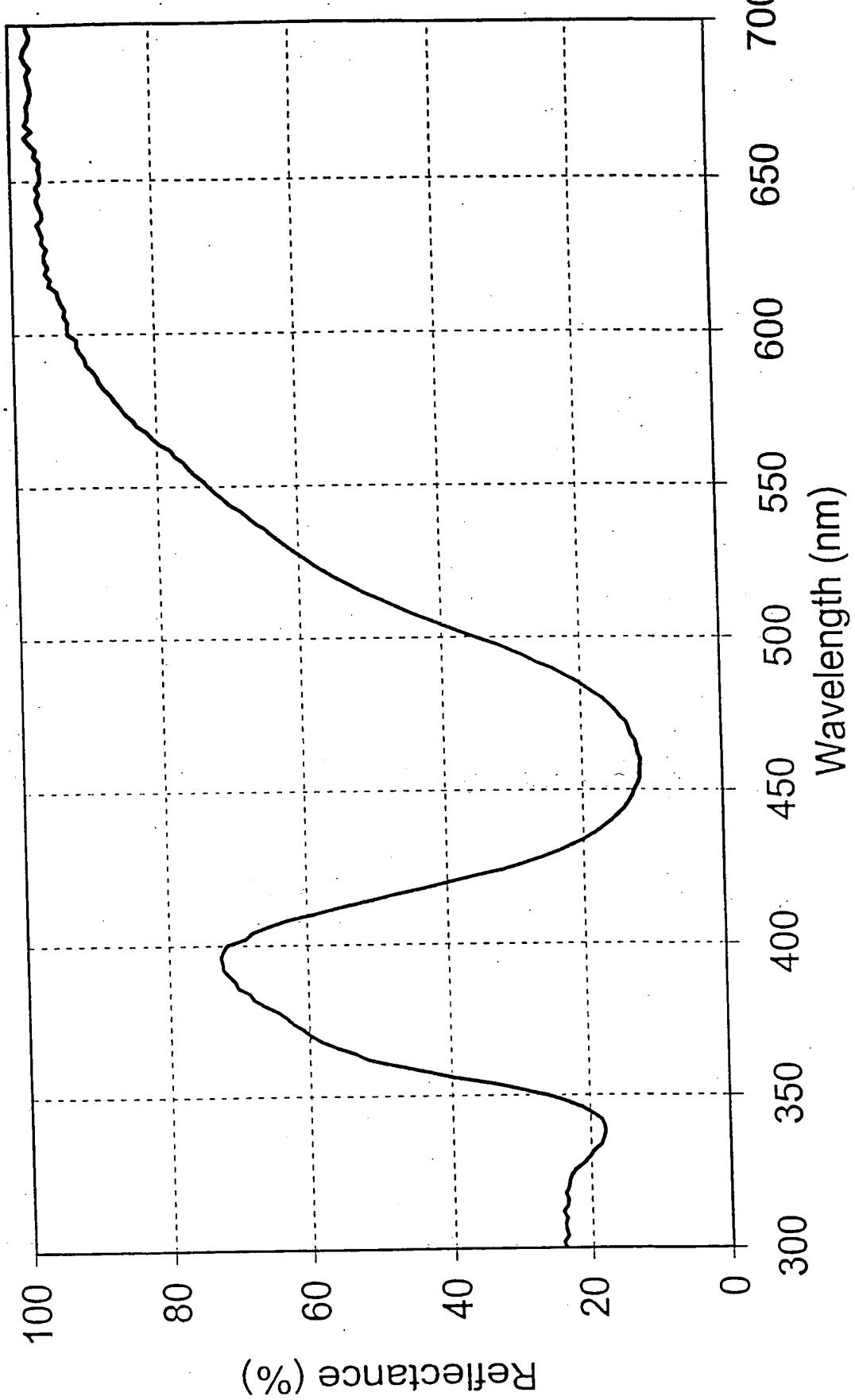


FIG. 4

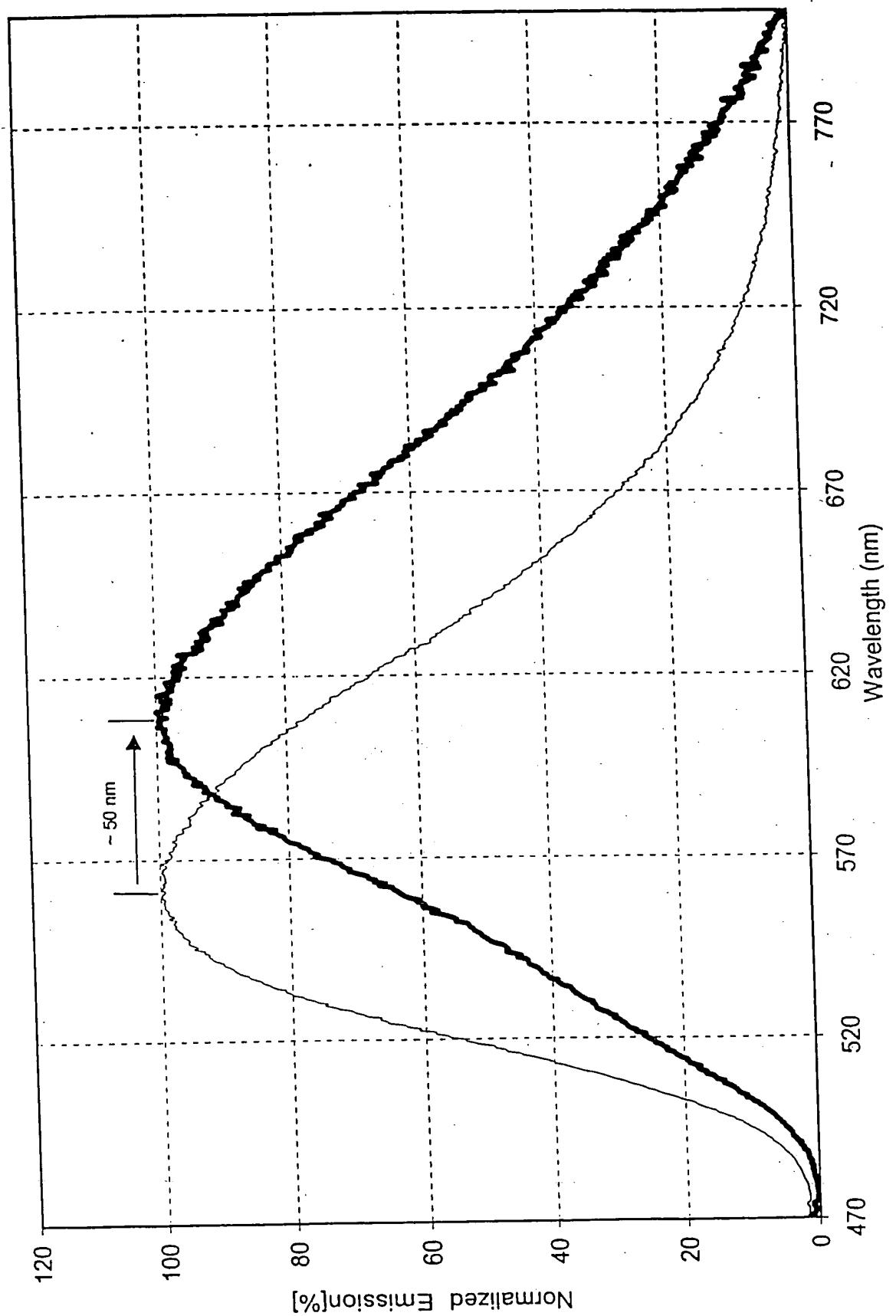


FIG. 5

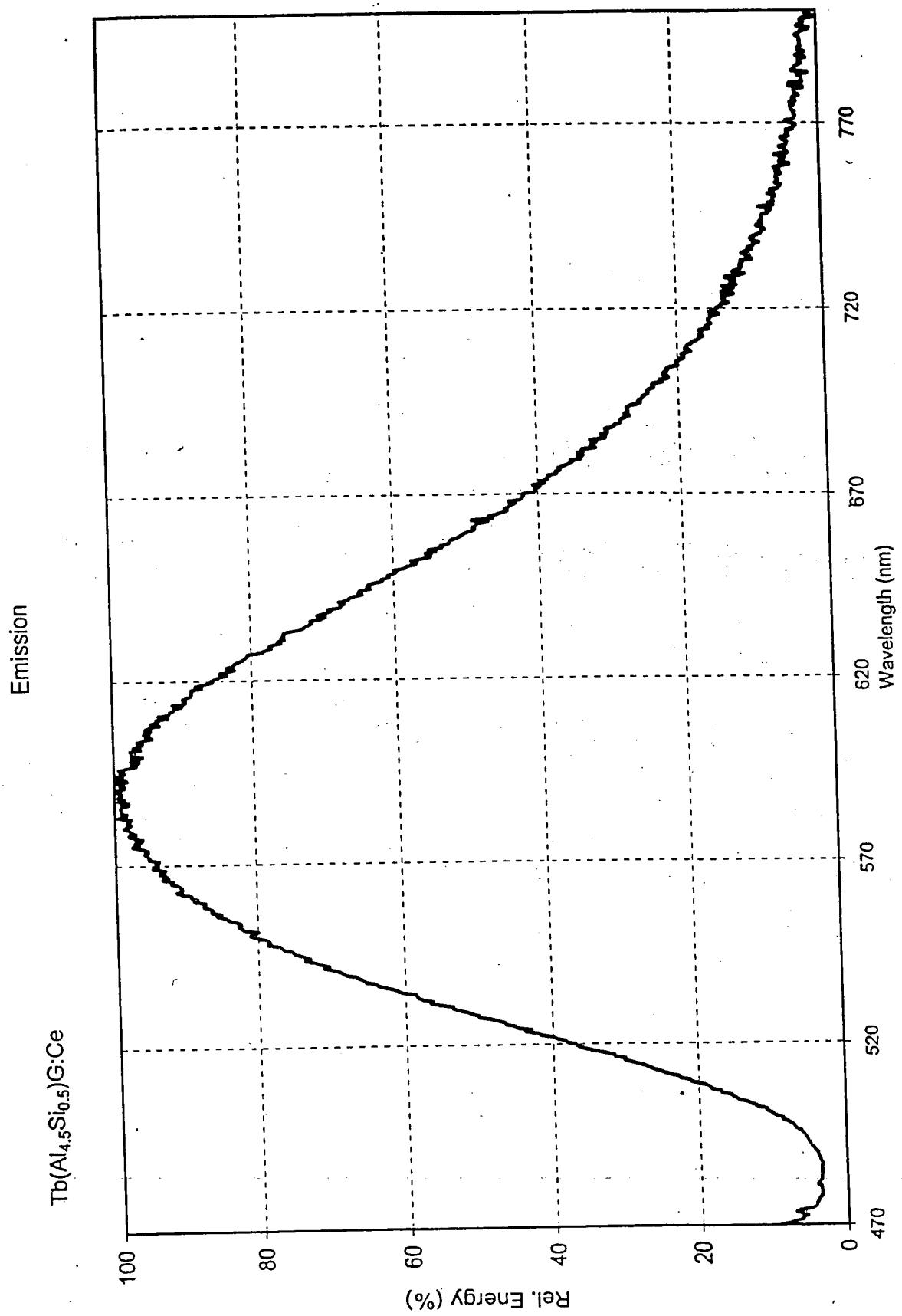


FIG. 6

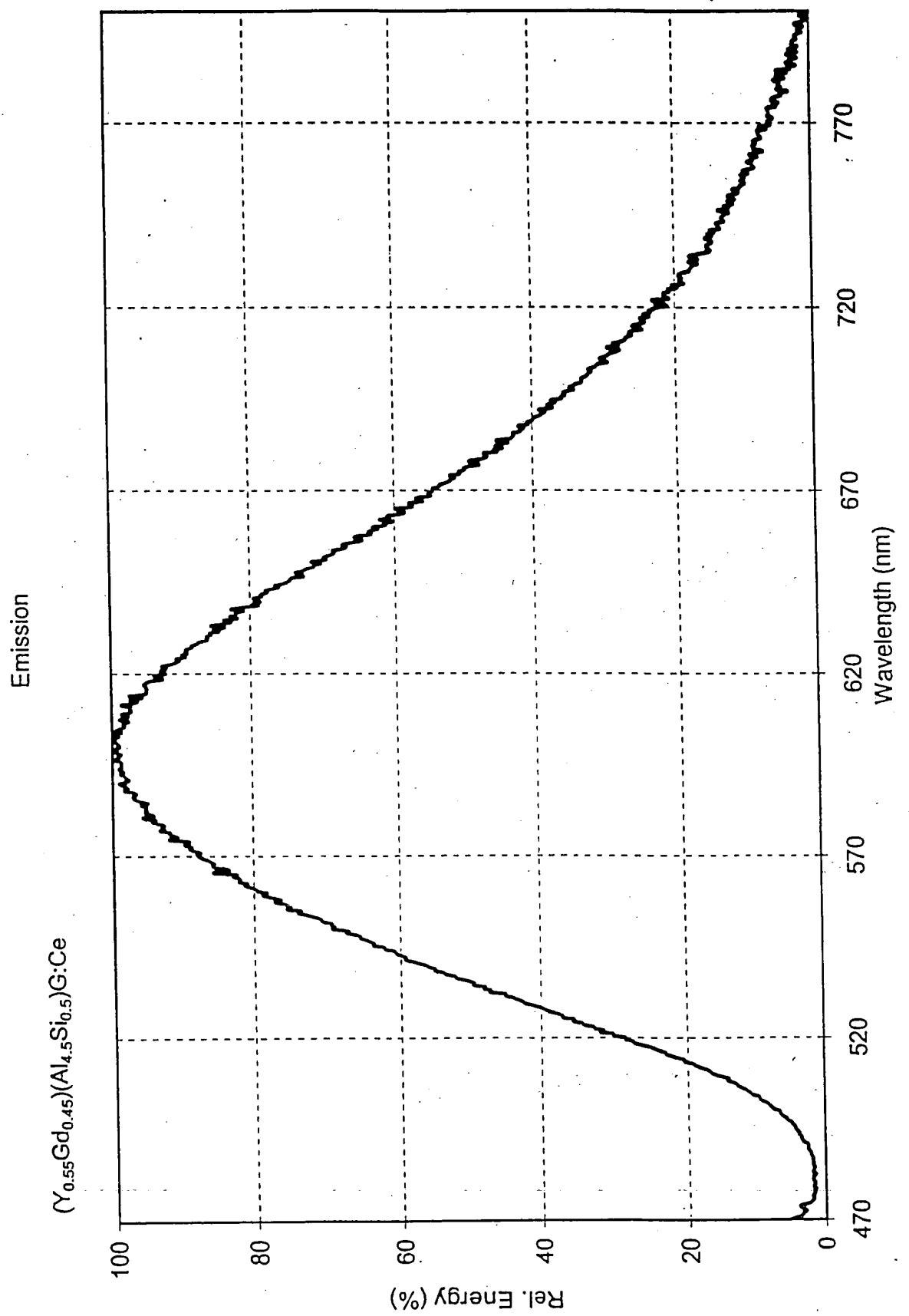


FIG. 7

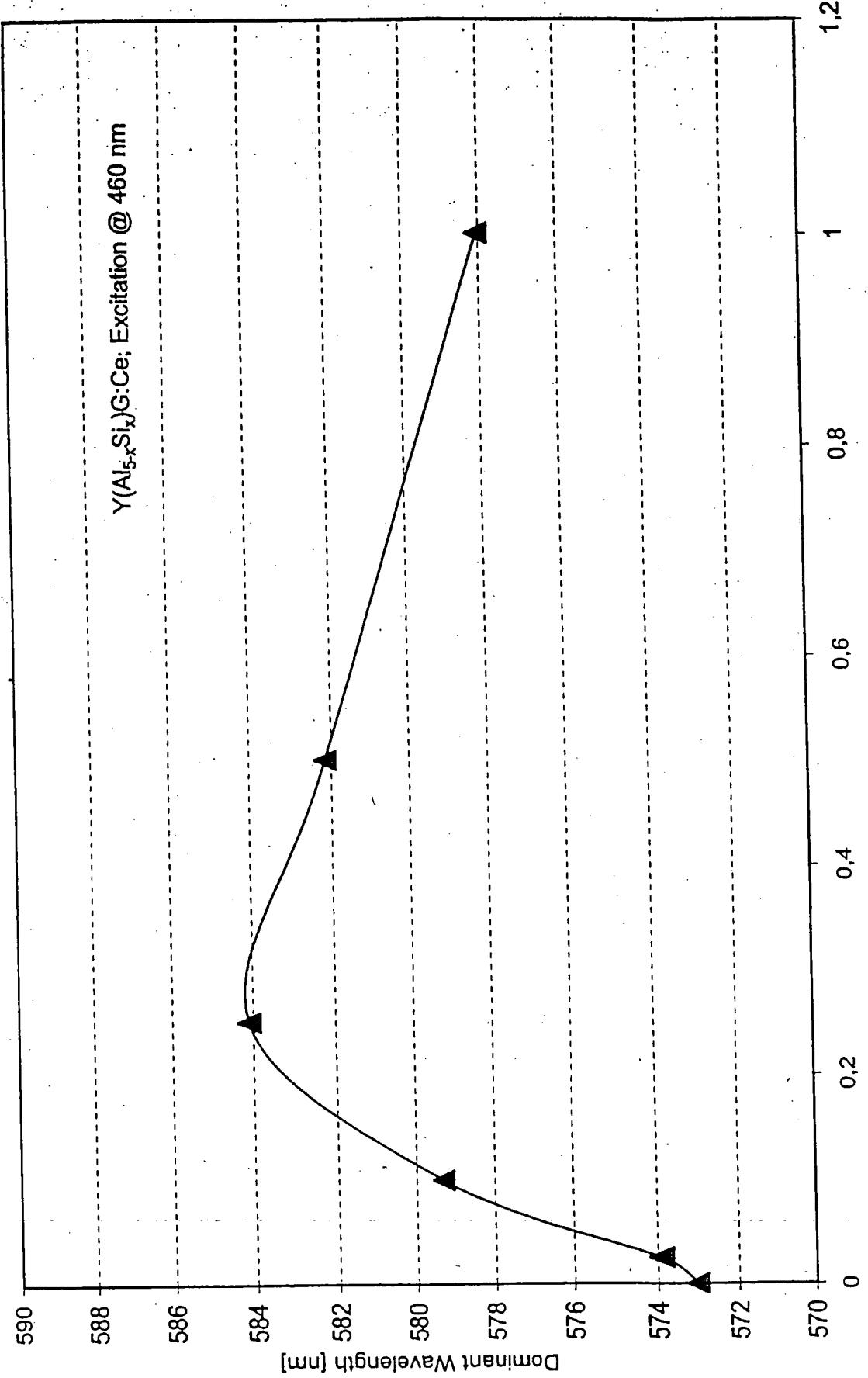


FIG. 8

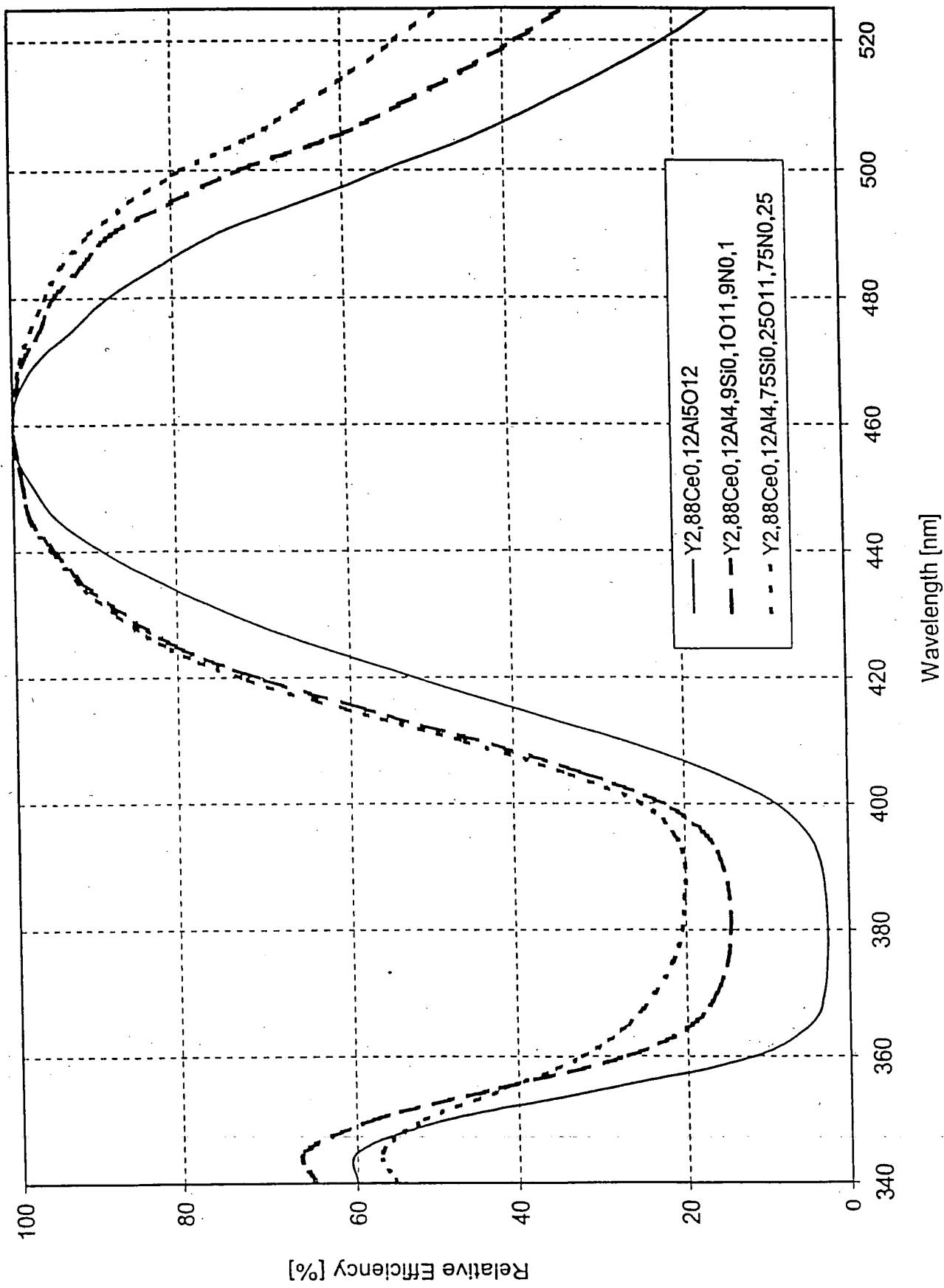
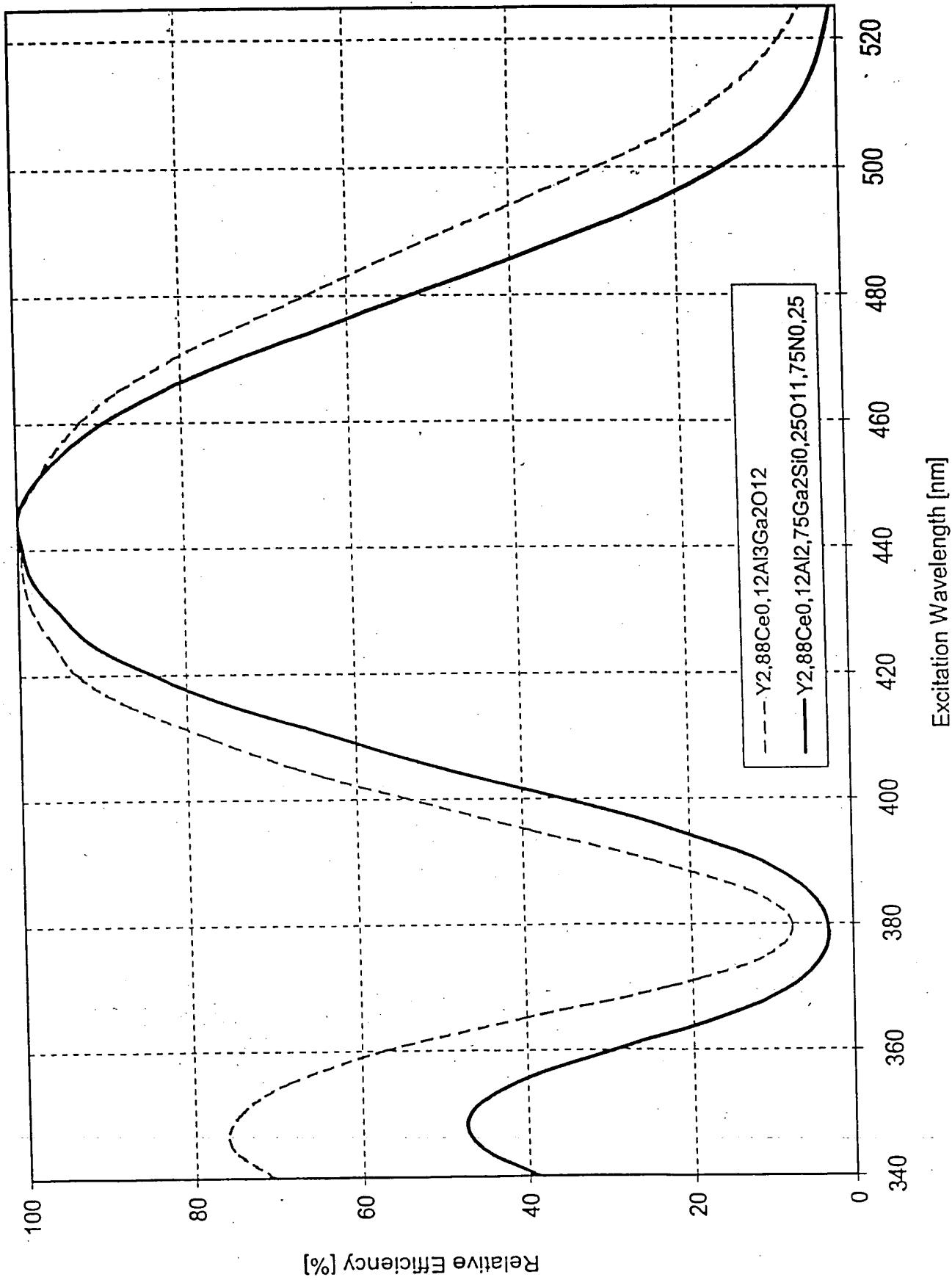


FIG. 9



Excitation Wavelength [nm]

FIG. 10

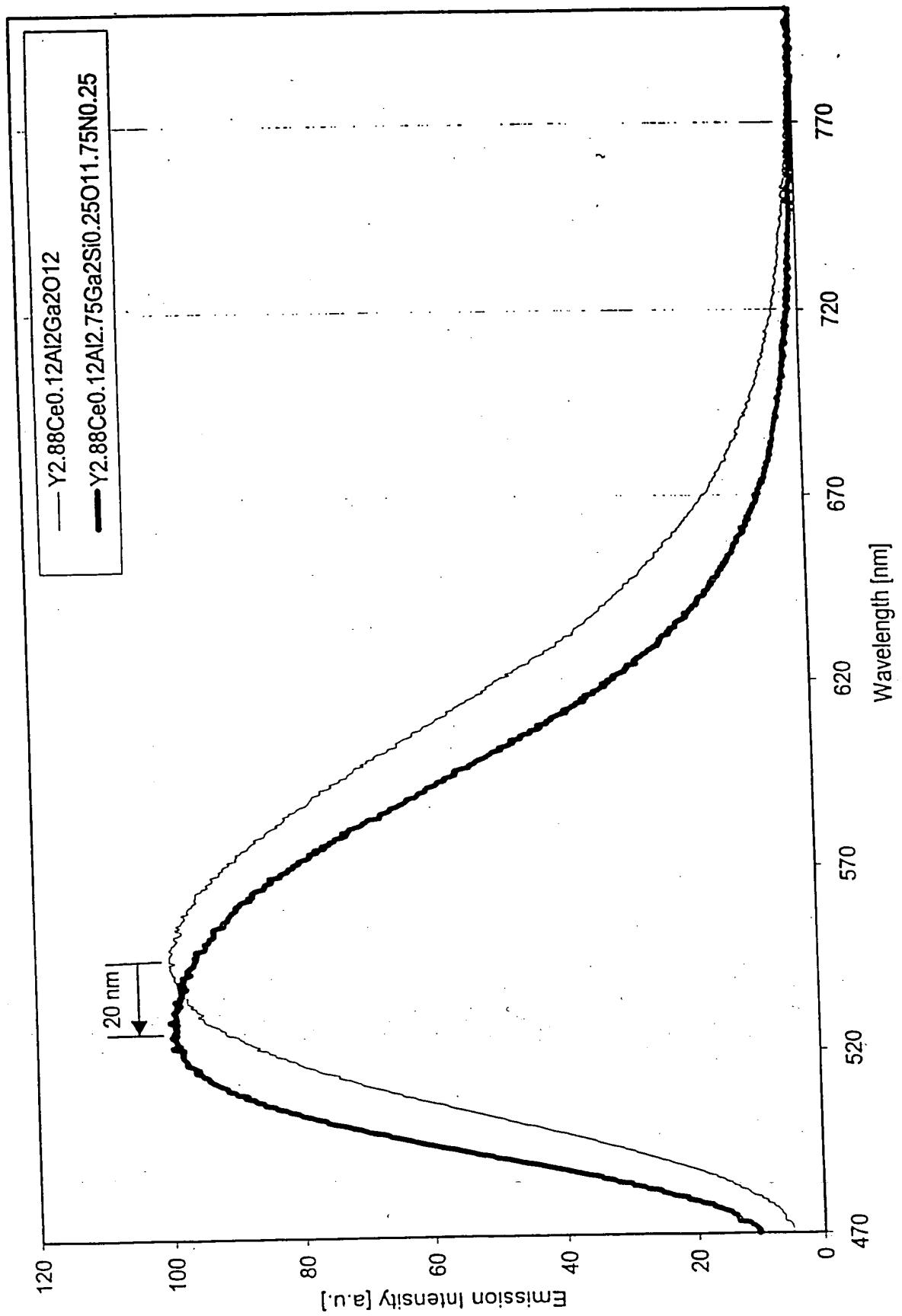


FIG. 11

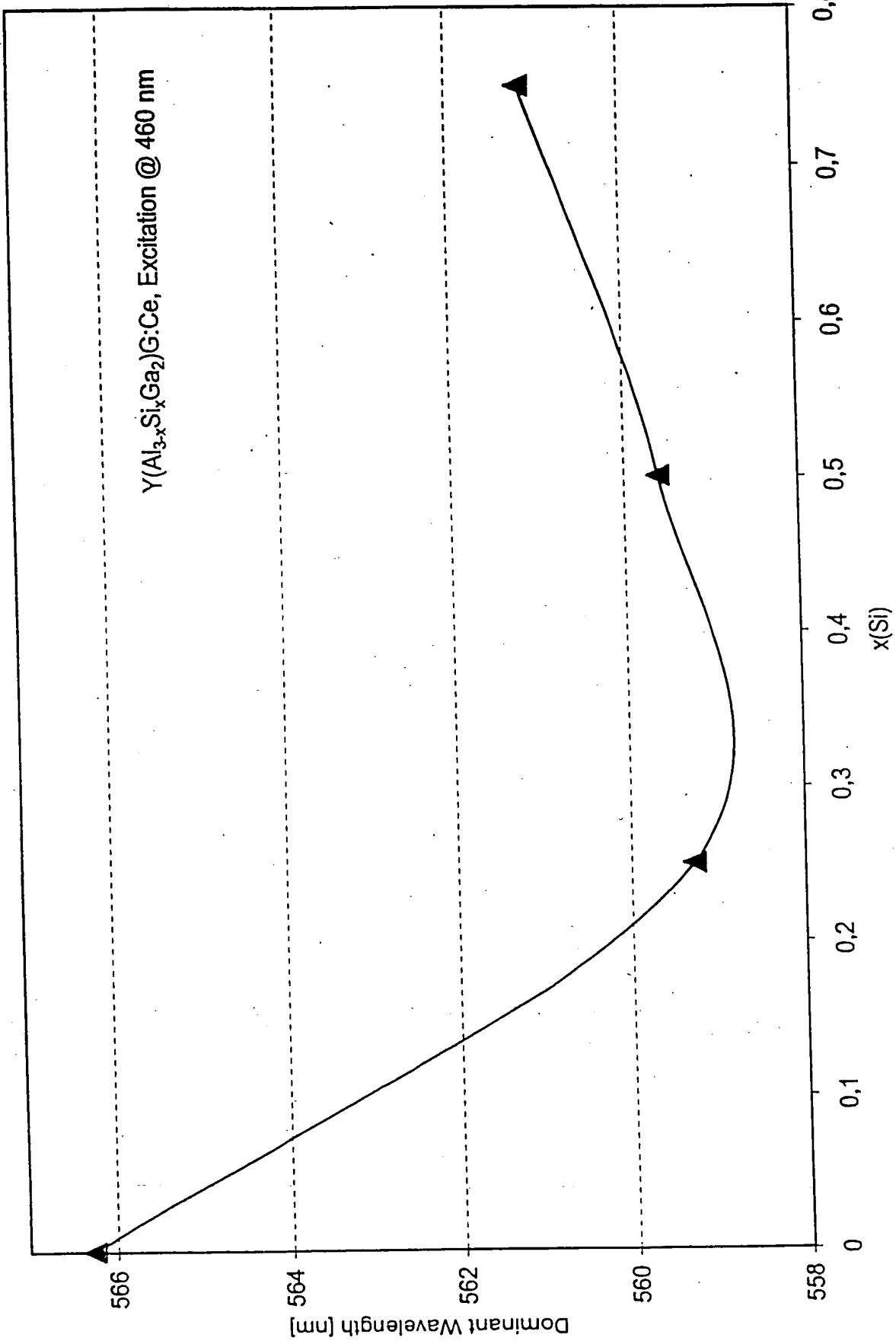


FIG. 12

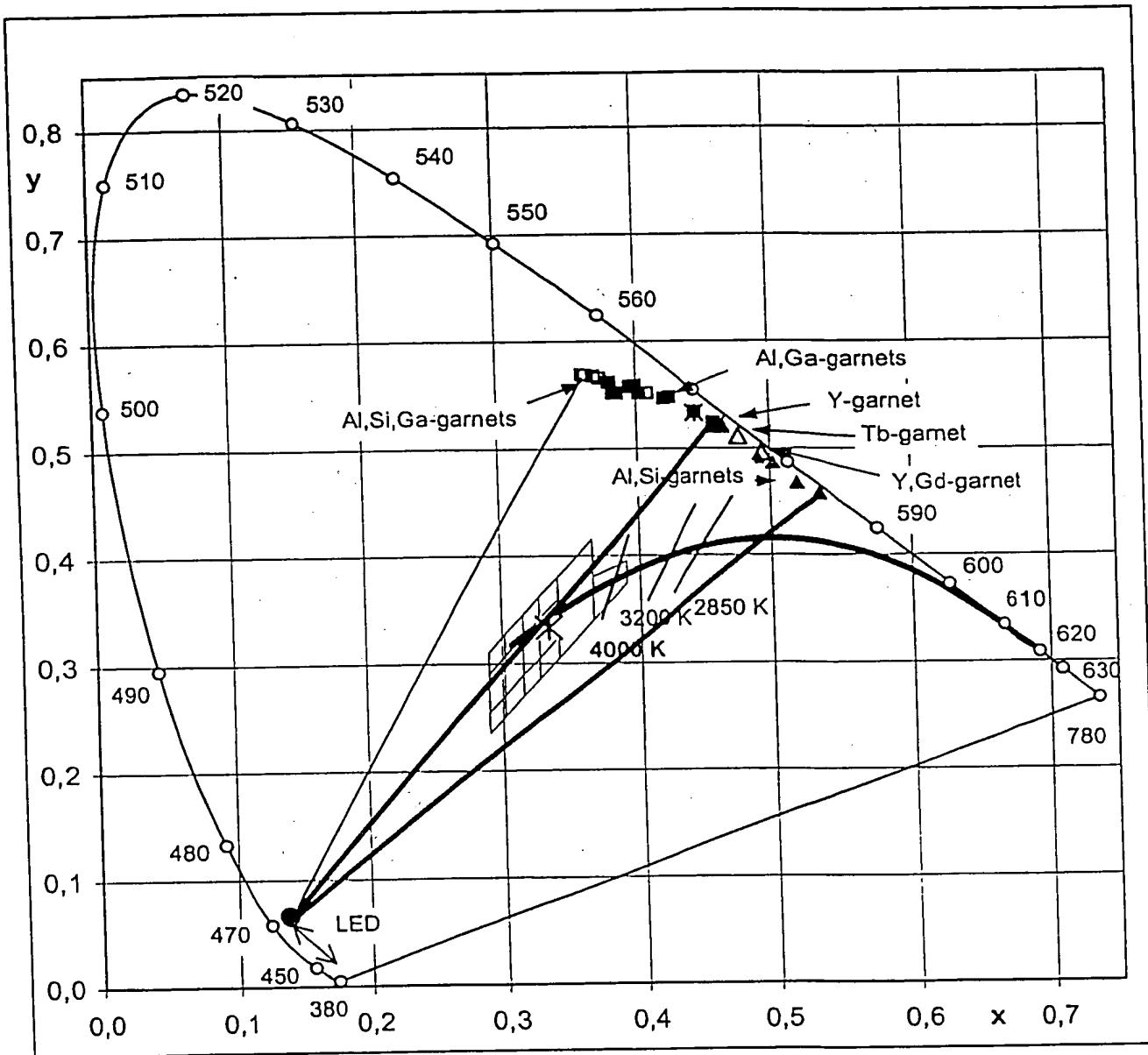


FIG. 13

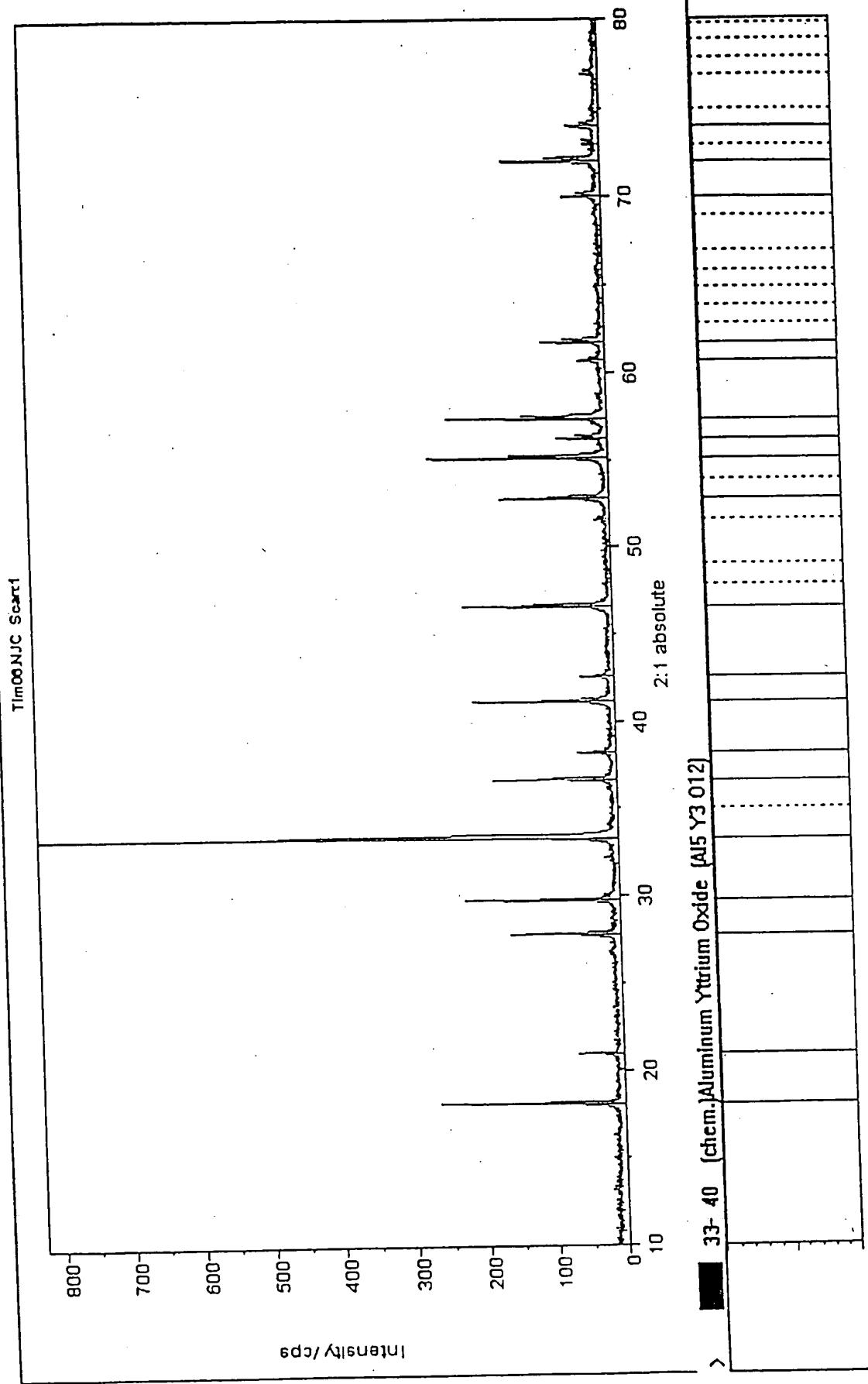


FIG. 14

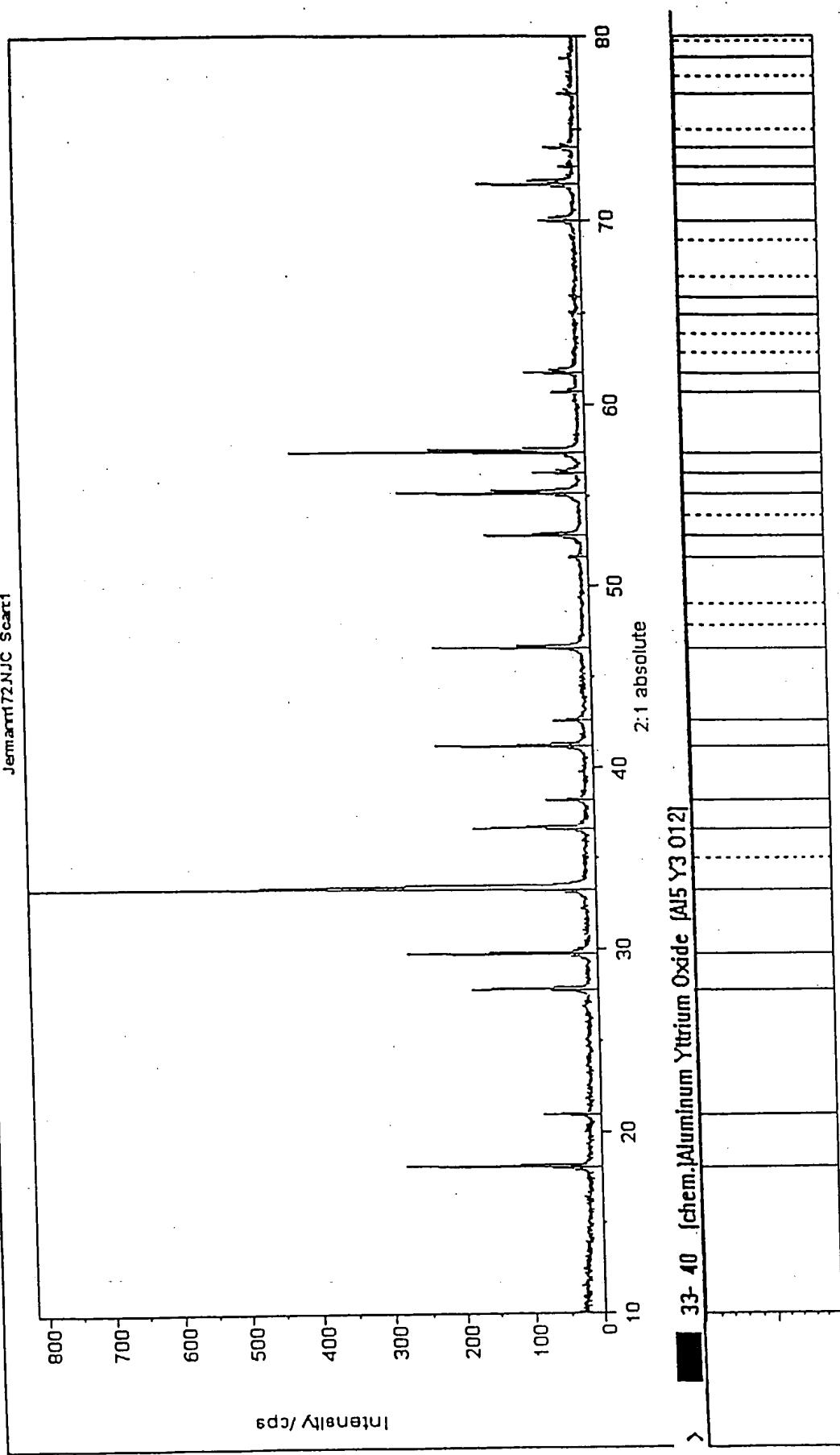


FIG. 15

Winkelbereich [ $^{\circ}2\Theta$ ]: 10-80  
Probe:  $\text{Y}(\text{Al}_{4.5}\text{Si}_{0.5})\text{G:Ce}$

Schrittweite [ $^{\circ}$ ]: 0.01

Messzeit/Schritt [s]: 1

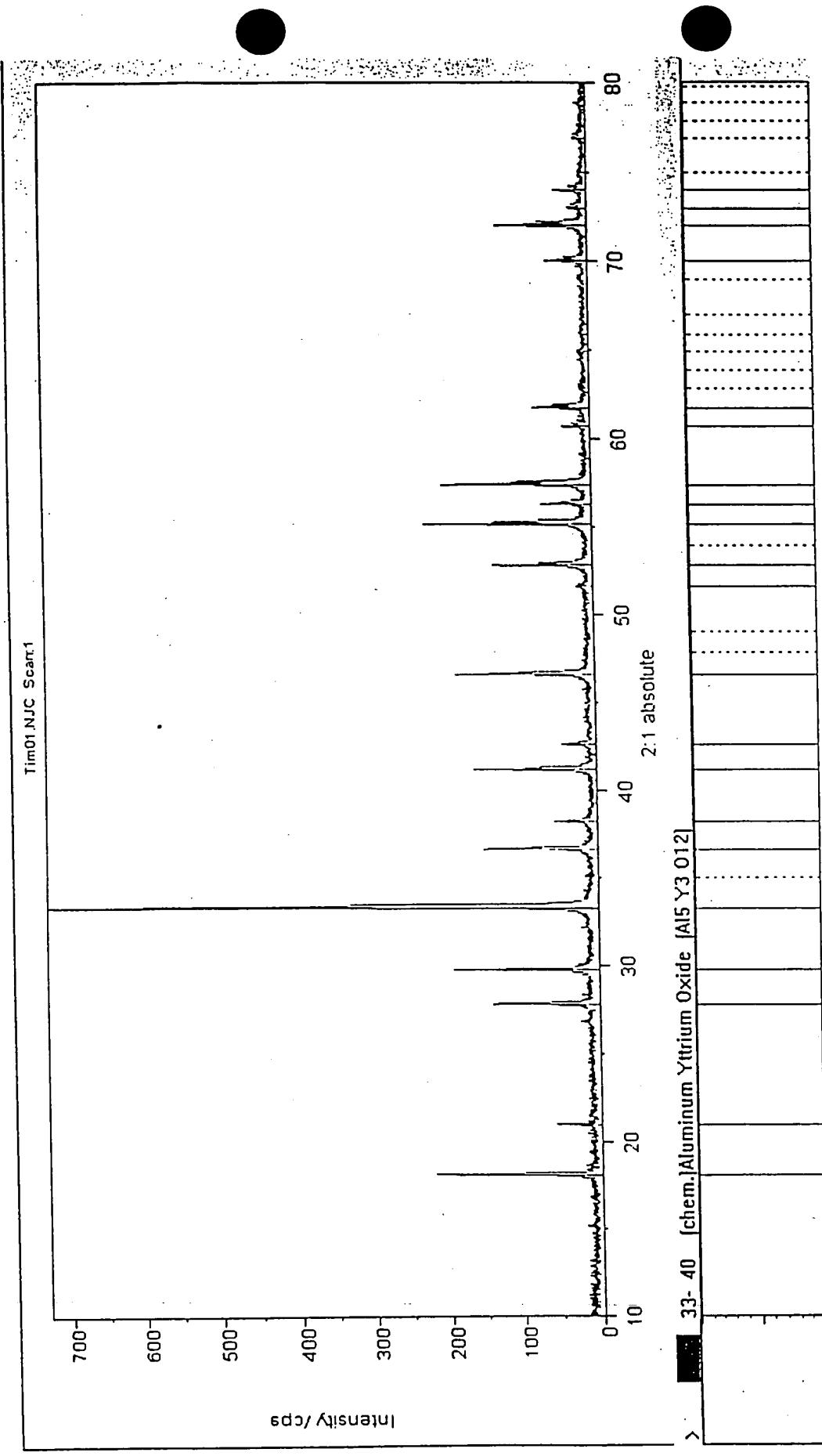


FIG. 16

Winkelbereich [ $^{\circ}2\Theta$ ]: 10-80  
Probe:  $\text{Y}_{2.88}\text{Ce}_{0.12}\text{Al}_{2.75}\text{Ga}_2\text{Si}_{0.25}\text{O}_{11.75}\text{N}_{0.25}$

Schrittweite [ $^{\circ}$ ]: 0.01  
Messzeit/Schritt [s]: 1

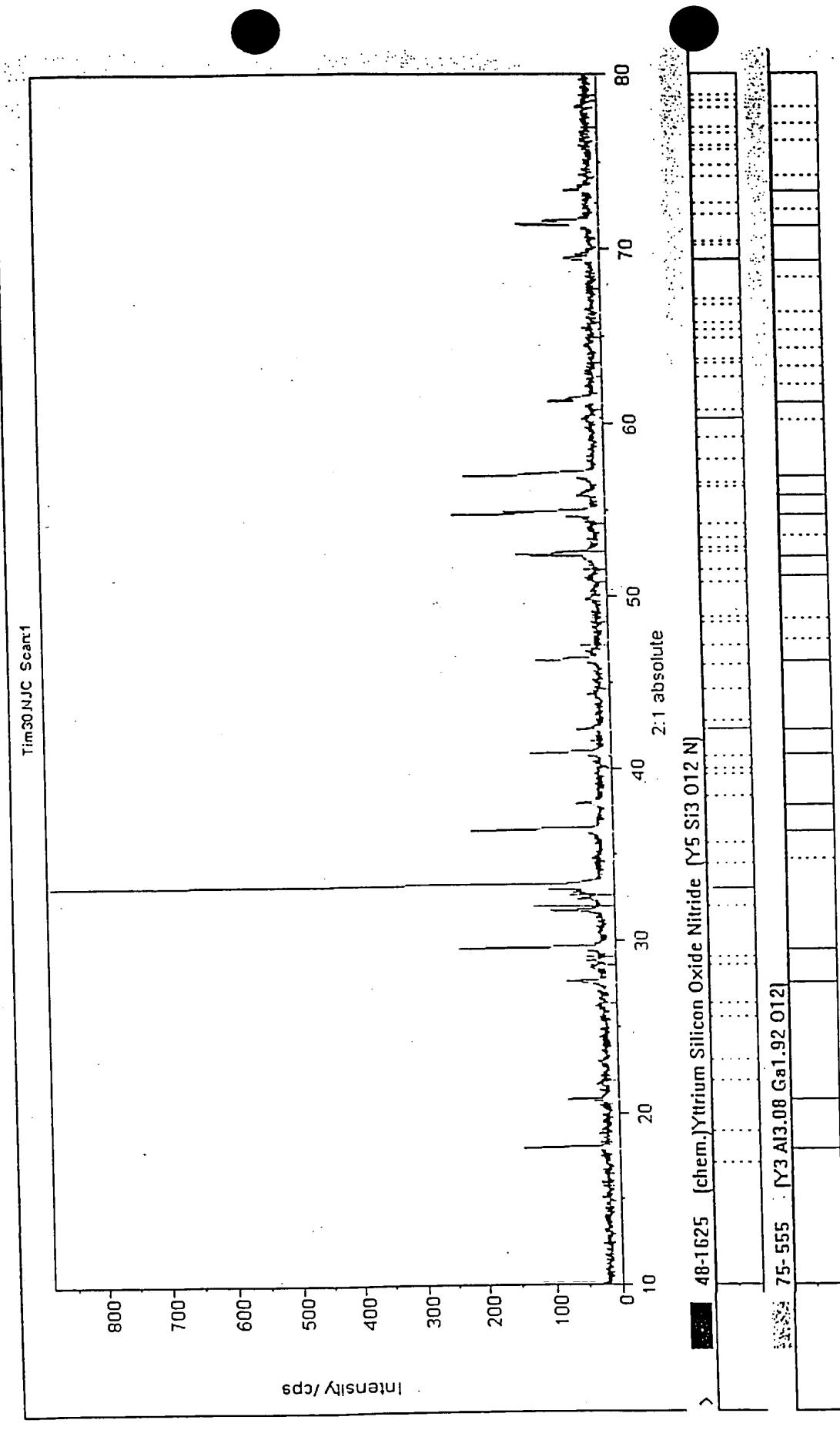


FIG. 17

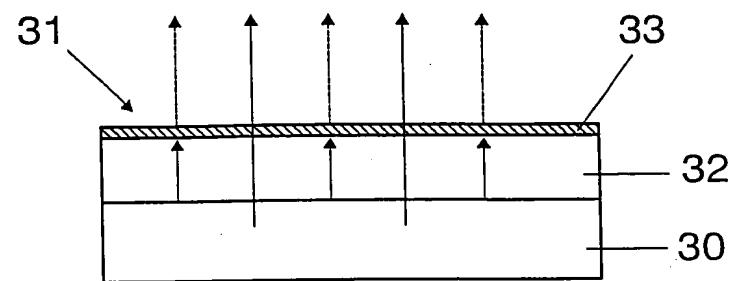


FIG 18

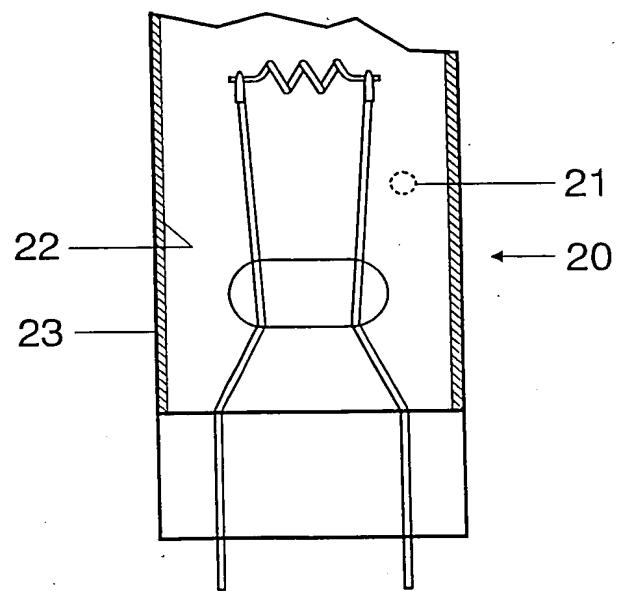


FIG 19

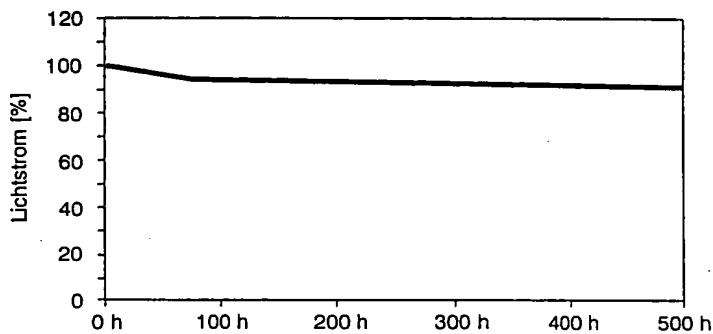


FIG 20a

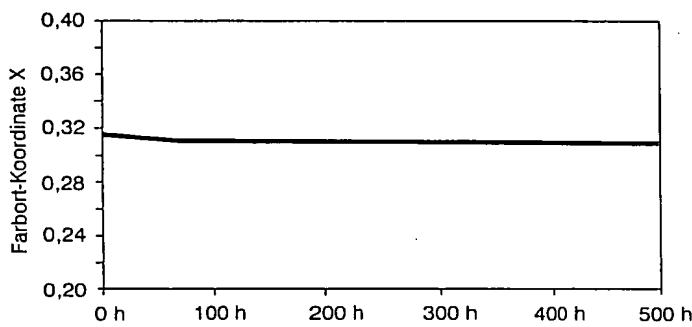


FIG 20b

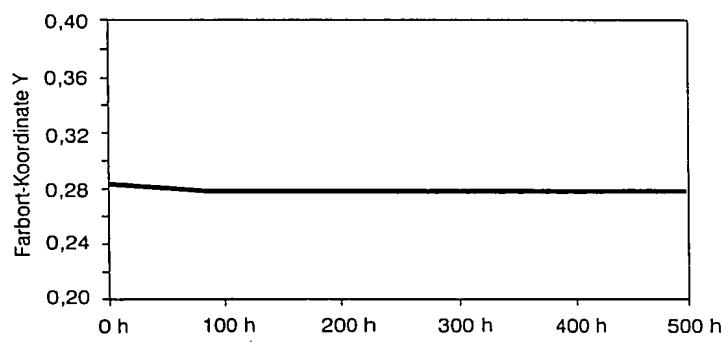


FIG 20c